Comune di Lacchiarella

Città Metropolitana di Milano

Regione Lombardia

Proponente

APTO ITALIA S.R.L.

Oggetto

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN DATACENTER - INSTALLAZIONE DI GRUPPI ELETTROGENI DI EMERGENZA DI POTENZA COMPLESSIVA SUPERIORE A 150 MWt

Titolo elaborato

Istanza Valutazione di Impatto Ambientale

Elaborato A06

Relazione geologica e Relazione geotecnica

Moriggi Luigi
Ordine degli Architetti PPC di Milano
Architetto
24.09.2025 10:33:17
GMT+02:00

Dott. Geol. Luigi Corna
Ordine Regionale dei Geologi della Lombardia n. 765
TECNO.GEO.
Società di Ingegneria Corna Pelizzoli Rota s.r.l.
Via Filippo Corridoni n. 27 – 24124 Bergamo

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
CORNA LUIGI nº 765

Settembre 2025

Indice

1) PREMESSA 3
1.1) Ubicazione geografica e descrizione delle opere in progetto 4
2) RELAZIONE GEOLOGICA 5
2.1) Inquadramento geologico ed idrogeologico 5
2.2) Piano delle indagini 5
2.3) Modello geologico e sismotecnico di progetto 7
2.4) Fattibilità geologica del progetto 7
2.5) Componente sismica geologica del progetto 8
2.5.1) Amplificazione litologiche – classificazione dei suoli, categoria di sottosuolo 8
2.5.2) Amplificazioni topografiche 8
2.5.3) Fenomeni di liquefazione - cedimenti 8
2.6) Componente geologica del progetto 9
3) RELAZIONE GEOTECNICA 12
3.1) Modello geotecnico di progetto 12
3.2) Componente geotecnica del progetto 13
3.2.1) Componente sismica geotecnica 13
4) CONCLUSIONI 14

Allegati

ALLEGATO N.1: Estratto Relazione geologica della “RICHIESTA DI TITOLO ABILITATIVO - PERMESSO DI COSTRUIRE PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI A DESTINAZIONE PRODUTTIVA ALL'INTERNO DEL COMPARTO H2a - AMBITO DI TRASFORMAZIONE H2” a cura di “Dott. Geologo Andrea Brambati”, datata Settembre 2021 (resa in piena disponibilità allo scrivente dalla Committente).

1) PREMESSA

La presente relazione è redatta a nome e per conto di "APTO ITALIA S.R.L." a supporto del "PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN DATACENTER - INSTALLAZIONE DI GRUPPI ELETTROGENI DI EMERGENZA DI POTENZA COMPLESSIVA SUPERIORE A 150 MWt" in Comune di Lacchiarella (MI).

La relazione è composta da:

- relazione geologica, che ha lo scopo di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dell'area al fine di valutare la fattibilità e compatibilità geologica dell'intervento, il modello geologico, le amplificazioni sismiche di sito ed ottimizzare le scelte progettuali;
- relazione geotecnica, che ha lo scopo di acquisire i dati di progetto, di definire il modello geotecnico e di valutare preliminarmente la soluzione fondazionale indicata. Il Progettista delle strutture, sulla base della presente e definite le tipologie di opere, eseguirà le verifiche geotecniche e redigerà la relazione d'opera definitiva, in funzione dei livelli di sicurezza, delle prestazioni e delle specificità strutturali dell'opera in progetto, facendo riferimento e citando nei propri elaborati i dati desunti da questa relazione.

Per lo svolgimento della presente si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 17 gennaio 2018 "Norme Tecniche per le costruzioni";
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.L.PP.: "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le ostruzioni";
- UNI ENV 1997 – 1 – Eurocodice 7 "Progettazione Geotecnica" parte 1;
- L.R n. 33 del 12 ottobre 2015, D.G.R. n. X/5001 del 30 marzo 2016, D.G.R. n X/2129 del 11 luglio 2014 "in materia di deposito sismico";
- Componente geologica comunale PGT e studio del Reticolo idrico Minore.
- D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 e s.m.i. "…componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio… "

Approvazione PGT	**Tipo atto**	**Numero**	**Data**
Componente geologica	d.c.c.	22	24/07/2019

Le attività condotte nell'espletamento dell'incarico hanno previsto:

- Reperimento di dati bibliografici della zona (in particolare PGT e Archivio studi geologici-idraulici del sistema informativo territoriale della Regione Lombardia);
- Svolgimento rilievi ed indagini nel sito in esame;
- Inquadramento geologico e geomorfologico del sito;
- Verifica della compatibilità e fattibilità geologica del progetto;
- Definizione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo e delle caratteristiche sismiche locali;
- Sviluppo delle indicazioni progettuali inerenti la componente geologica e geotecnica del progetto.

Le valutazioni hanno considerato il seguente piano di indagini:

- Dati contenuti nella componente geologica del PGT;
- Prove geologiche di bibliografia e di progetti redatti dagli scriventi, eseguite in zone limitrofe al sito oggetto d'intervento e rappresentative per questo studio;
- Rilievo geologico di dettaglio;
- Prove specifiche per questo progetto: n.1 sondaggio, n.5 prove SPT e n.3 granulometrie – n. 10 Prove penetrometriche DPSH – n.1 prova di permeabilità a carico variabile in foro – n.1 prove geofisiche sismica a rifrazione e MASW.

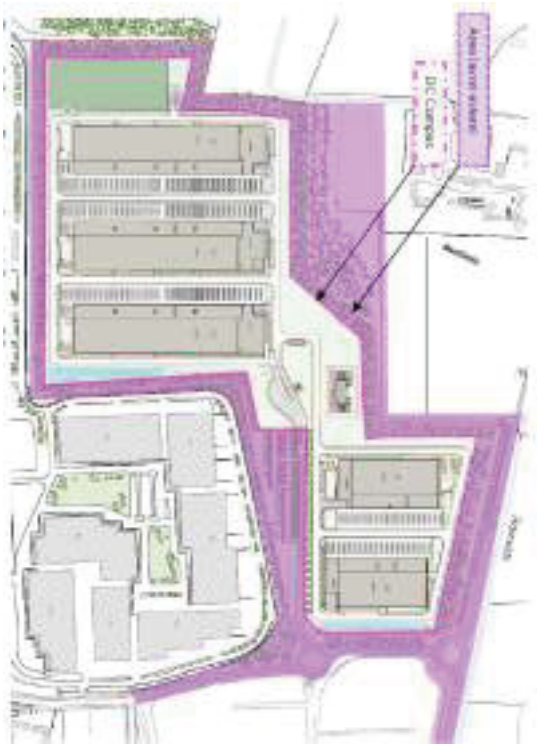
NB Il piano delle indagini per la Relazione geologica è stato considerato adeguato anche per la Relazione geotecnica. Le indagini di bibliografia considerate sono state valutate ai sensi del cap. 6.2.2 NTC 2018, in accordo con il progettista dell'intervento.

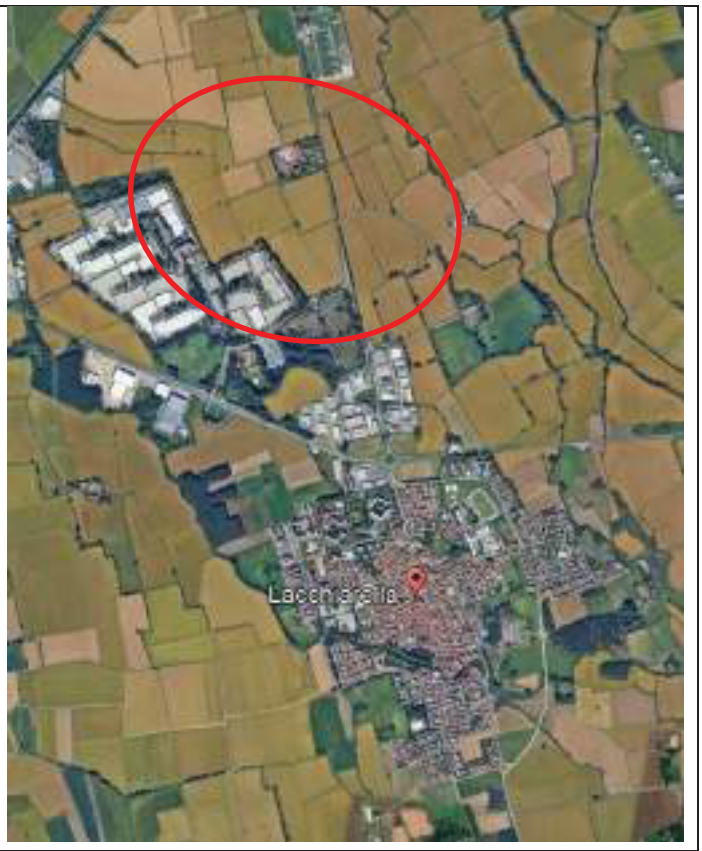
1.1) Ubicazione geografica e descrizione delle opere in progetto

La zona in studio è collocata nella parte settentrionale del comune di Lacchiarella, in area verde in corso di urbanizzazione a fini produttivi. La morfologia dei luoghi è pianeggiante con lieve pendenza verso sud.

Figura 1: planimetria aree di progetto.

In basso è riportata una planimetria schematica dell'area del progetto ed a destra l'inquadramento su ortofoto





Il progetto prevede la costruzione di:

- capannoni ed infrastrutture annesse del complesso datacenter;
- nuove opere di urbanizzazione - viabilità, parcheggi, verde urbano e stradale.

Non sono previsti piani interrati.

Sono previsti scavi limitatamente agli sterri per la ricostruzione morfologia delle superfici di progetto e la posa dei rilevati delle opere stradali e dei parcheggi, e scavi a sezione ristretta per la posa dei sottoservizi.

Il recapito della fognatura acque bianche meteoriche sarà per filtrazione nel sottosuolo (con limitazioni derivanti dalla bassa soggiacenza della falda) e recapito in corso d'acqua superficiale previa laminazione.

Per maggiori dettagli vedi elaborati di progetto.

Figura 2: annotazione vita nominale delle opere – classe d'uso

Vita nominale Vn
Le opere geotecniche previste sono:

x	Scavi di fondazione provvisionali con permanenza inferiore a 2 anni (V_n **= 10**);
x	Fondazioni superficiali di strutture ordinarie (V_n **= 50**)

Classi d'uso

	Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
x	Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali.

D.M. 17 gennaio 2018

2) RELAZIONE GEOLOGICA

2.1) Inquadramento geologico ed idrogeologico

Si riporta una sintesi dell'inquadramento geologico dei luoghi ampiamente descritto in allegato.

L'area di studio si colloca nel contesto geomorfologico della pianura dei fontanili a sud di Milano, alla quota di 97,5 m s.l.m.

Nell'area, il substrato è dato da depositi stratificati di terreni limoso sabbiosi e sabbioso ghiaiosi. L'unità geologica identificata nei luoghi dalla Carta Geologica d'Italia 1:100.000, è denominata "Diluvium recente" (Pleistocene Superiore).

Elementi del reticolo idrografico

L'idrografia dei luoghi si identifica sostanzialmente nel reticolo idrico rurale dato da: Fontanile Pilastrello a ovest e sud; Cavo Carlotta a est. A questi si aggiungono i canali adacquatori minori (cavi irrigui e canali di sgrondo dei campi). I canali distribuiti entro l'area di studio hanno ampiezza di circa 1.5-2 m e alveo in terra, e le portate sono generalmente di 200-300 l/s. Alla scala più ampia il corso d'acqua più significativo è dato dalla Roggia Ticinello a sud della SP40 Binaschina.

Idrogeologia, acque sotterranee

In substrato risulta interessato da una falda freatica. Il livello freatico si attesta alle profondità di circa 1,3 m dal p.c..

Stato del dissesto idrogeologico

Nell'area del progetto e di un suo intorno significativo non sono segnalati elementi del dissesto idrogeologico.

2.2) Piano delle indagini

Il piano delle indagini ha previsto: l'acquisizione dei dati geologici della bibliografia rappresentativi per l'area del progetto e una campagna di indagini geologiche specifiche (puntualmente descritte in allegato).

n.1 sondaggio, n.5 prove SPT e n.3 granulometrie – n. 10 Prove penetrometriche DPSH – n.1 prova di permeabilità a carico variabile in foro – n.1 prove geofisiche sismica a rifrazione e MASW

I dati delle indagini dei sondaggi a carotaggio continuo, hanno permesso l'elaborazione della seguente ricostruzione litostratigrafica:

- 0,00 – 0,30 m terreno vegetale costituito da limo debolmente argilloso
- 0,30 – 3,40 m limo debolmente sabbioso
- 3,40 – 4,20 m argilla grigia
- 4,20 – 10,00 m sabbia ghiaiosa debolmente limosa
- 10,00 – 13,30 m sabbia debolmente ghiaiosa
- 13,30 – 15,00 m sabbia.

Profondità base strato m da p.c.	N_{SPT} **N1**	**N2**	**N3**
3,0	1	1	1
6,0	6	7	8
9,0	5	6	11
12,0	7	9	12
15,0	9	12	13
N_{SPT}: numero colpi prove SPT			

Campione	**C1-A**	**C1-B**	**C1-C**
Profondità [m]	5	10	15
Peso secco tot. trattato [g]	1.791,1	1.791,1	1.791,1
Descrizione	sabbia ghiaiosa debolmente limosa	sabbia debolmente ghiaiosa	sabbia
Coefficiente di Uniformità D60/D10	11,18	7,44	5,71
Percentuale di Fine (FC) [%]	9,2	9,2	9,2
D50 [mm]	0,7	0,58	0,32

I dati delle prove penetrometriche continue dinamiche, hanno permesso l'elaborazione della seguente stratigrafia con unità DPSH uniformi per resistenza:

Unità DPSH	**Profondità base strato m**	**N_{DPSH} Media ponderata**
STRATO 1	3,5	2
STRATO 2	8	7
STRATO 3	15	11
STRATO 4	18	22
STRATO 5	20	26

Dalle interpretazioni dei dati rilevati dalle prove di permeabilità a carico variabile in foro è stato rilevato quanto segue:

- prova 1 – postazione P9 tra 0.00 e 1.30 m: K = 1,3 x 10^{-2} cm/sec;

Kvh di progetto = 1,3x10^{-2} cm/sec

I dati delle indagini geofisiche, hanno permesso l'elaborazione della seguente ricostruzione delle unità geofisiche.

Unità geofisiche	**Profondità base strato m**	**Vs [m/s]**	**Vp [m/s]**
STRATO 1	3,5	150	289
STRATO 2	8	240	1441
STRATO 3	15	260	
STRATO 4	18	260	
STRATO 5	30	330	
Vs30 di progetto = 256 m/s			

2.3) Modello geologico e sismotecnico di progetto

Il modello geologico rappresentativo del substrato dell'area di progetto per le interazioni terreno-struttura, è stato ricostruito sulla base di tutti i dati in disponibilità.

Tabella 1: modello geologico e sismotecnico di progetto

MODELLO GEOLOGICO							
Unità	**Prof. base strato (m)**	**Descrizione**	**K_{vh} cm/sec**	**N_{DPT} med**	**V_p (m/s)**	**V_s (m/s)**	**Grado addensamento**
A	4,0	Limo e argilla	1,3 x 10^{-2}	2	300	150	poco add.
B	16,0	Sabbia	-	10	1400	250	mediamente add.
C	20,0	Sabbia e ghiaia	-	23	-	300	addensato
D	>20,0	Argilla	-	-	-		

Kvh (cm/sec) = coefficiente di permeabilità
N_{DPT} = numero colpi prove penetrometriche DPT, medio ponderato
V_p (m/s) = velocità delle onde di compressione
V_s (m/s) = velocità delle onde di taglio

DR (%)	0 ÷ 15	15 ÷ 35	35 ÷ 65	65 ÷ 85	85 ÷ 100
Stato di addensamento	sciolto	poco add.	mediamente add.	addensato	molto add.

V_{S30} = 256 m/s.

Vs30	a profondità fino a 30 m non viene superato Vs 800 (si calcola relativo ad uno spessore di 30 m	relativo allo spessore (a partire dalla profondità della fondazione)
Vs,eq	a profondità inferiori a 30 m viene superato Vs 800 (si calcola relativo allo spessore Vs<800)	relativo allo spessore (a partire dalla profondità della fondazione)

Falda freatica 1,3 m da p.c.

2.4) Fattibilità geologica del progetto

L'area oggetto di intervento nella "Componente geologica" del PGT comunale risulta classificata come specificato in seguito.

- **Carta dei vincoli geologici**: vincoli polizia idraulica (R.D. 523/1904) sul perimetro;
- **Carta di fattibilità geologica**: l'area rientra nella *Classe di Fattibilità Geologica* (dgr 2616/11) **3,** limitazioni ideogeologiche e geotecniche;

CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA	
Classe	LIMITAZIONI
3	Fattibilità con consistenti limitazioni

Per quanto concerne lo *Scenario Pericolosità Sismica Locale* (dgr 2616/11) l'area rientra nello scenario (**Carta delle PSL**): **Z4a**. Analisi di secondo livello PSL 2 LIV del PGT: non effettuata.

SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE		
Sigla		EFFETTI
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche

Dal PGT comunale l'intervento NON rientra in "zona di rispetto" di opere di captazione acque per uso idropotabile (dall'art. 94 del D. Lgs. 152/06). I luoghi dello studio, secondo il GeoPortale della Regione Lombardia, NON risultano perimetrati nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) di cui al d.lgs. n. 49 del 2010 in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE (Il primo PGRA è approvato con d.p.c.m. 27.10.16), e nel Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) di cui alla legge 183/89 (NT

PAI aggiornate 17.04.25). Lo studio geologico comunale NON ha eseguito approfondimenti di secondo livello. Il PGT NON è aggiornato al PGRA.

VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO di progetto – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.2: (FAS) Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS). Tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011.

Il progetto, valutato secondo il grado di approfondimento previsto dalla Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT comunale, risulta eseguibile senza particolari limitazioni di fattibilità geologica ed idrogeologica, secondo le indicazioni fornite nella presente relazione geologica.

Non risulta necessario prevedere "opere di messa in sicurezza idrogeologica del sito" propedeutiche alla realizzazione del progetto. Non risulta necessario prevedere un "piano di emergenza per i rischi idrogeologici" propedeutico alla realizzazione del progetto.

2.5) Componente sismica geologica del progetto

Secondo la D.g.r. 2129/14 il comune è classificato come di seguito.

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03015115	MI	LACCHIARELLA	3	0,058571

2.5.1) Amplificazione litologiche – classificazione dei suoli, categoria di sottosuolo

Considerati i dati stratigrafici litologici e sismotecnici i valori di Vs,eq / VS30 e la profondità del sistema fondazionale, si attribuisce ai suoli la seguente categoria di suolo (paragrafo 3.2.2 NTC 2018)

CATEGORIA DI SUOLO	
Categoria	**Caratteristiche litologiche e sismografiche**
Categoria C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Tale categoria risulta adeguata a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.

2.5.2) Amplificazioni topografiche

Mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala 1:2.000 si attribuisce ai luoghi la seguente categoria topografica (paragrafo 3.2.2 NTC 2018).

CATEGORIA TOPOGRAFICA	
Categoria	**Caratteristiche della superficie topografica**
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°

2.5.3) Fenomeni di liquefazione - cedimenti

Le opere si andranno ad impostare su un suolo con caratteristiche ragionevolmente omogenee.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze indicate dalla normativa: cap. n. 7.11.3.4.2 punto 2 delle NTC del 2018 “Esclusione dalla verifica alla liquefazione”.

FENOMENI DI LIQUEFAZIONE		
Circostanza di esclusione dalla verifica		
1	Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1*g*	☒
Solo relativamente al criterio 1. La verifica è stata fatta allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Si ottiene un valore di accelerazione massima a_{max} attesa al piano campagna in condizioni di campo libero: $a_{max} = a_g * S_s * S_t = 0{,}042 * 1 * 1{,}5 = \mathbf{0.063} < 0.1g$		

Il rischio di liquefazione risulta assente.

2.6) Componente geologica del progetto

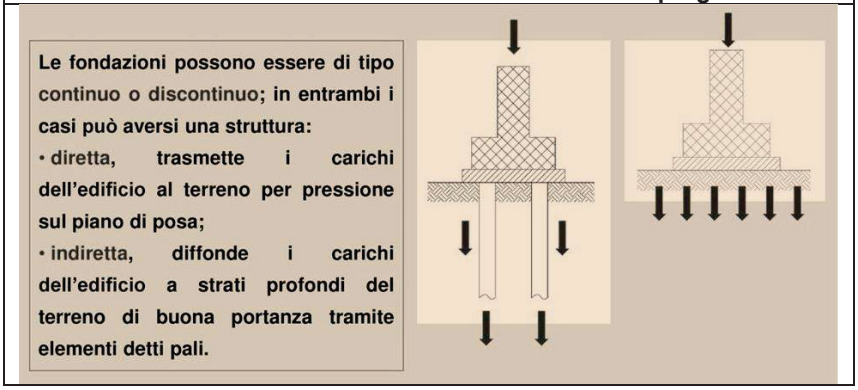
I terreni di fondazione saranno di tipo a grana medio-fine con scadenti caratteristiche geotecniche e con limitazioni per la superficialità della falda freatica a partire da 1,3 m dal p.c..

Fondazioni

Il substrato presenta comunque caratteristiche geologiche di resistenza sufficienti per la realizzazione del progetto.

Per la parte dei capannoni, le strutture saranno di tipo prefabbricato in cemento armato, acciaio, con fondazioni speciali profonde su pali per limitare rischi di cedimenti. Potranno essere valutate in alternativa anche fondazioni dirette, superficiali a platea o a trave continua a plinto con collegamento di travi reticolari, in cemento armato. La soluzione fondazionale sarà stabilita in funzione dello schema dei carichi di progetto.

Scelta tipologia di fondazione in funzione delle soluzioni di interazione struttura terreno di progetto



Classificazione delle tipologie di pali e loro applicazione in funzioni delle diverse situazioni di progetto		
	pali battuti**: infissi nel terreno attraverso il processo di battitura o percussione* ***costruiti fuori opera ***pali in legno*** ***pali metallici*** ***pali in calcestruzzo***	***pali trivellati**: prevedono la trivellazione per asportazione del terreno. Il palo viene inserito nel foro* ***gettati in opera*** ***pali in calcestruzzo***
***pali di piccolo diametro**: sono quelli che hanno un diametro inferiore a 25 cm e lunghezze comprese tra 5 e 20 m*		*è particolarmente utile in presenza di terreni più compatti o rocciosi, dove la semplice battitura potrebbe essere impossibile*
***pali di medio diametro**: sono quelli di diametro compreso tra 30 e 60 cm, con lunghezze che variano in genere da 5 a 25 m*	*le operazioni di battitura compattano il terreno di fondazione inoltre permettono un controllo piu semplice dei parametri di resistenza dei terreni in fase esecutiva su ciascun palo esclusi rischi vulnerabilità acquiferi*	
***pali di grande diametro**: sono quelli che hanno un diametro superiore a 80 cm e possono raggiungere lunghezze spesso dell'ordine di 20 ÷ 40 m*		*è particolarmente utile in presenza di terreni molto scadenti* *carichi elevati*

Valutate la tipologia di progetto e gli aspetti geologici dei luoghi si indica in via preliminare, di prendere in considerazione le soluzioni

- pali battuti di medio/grande diametro, in acciaio o calcestruzzo, di profondità di circa 15 m;
- platee nervate.

Rilevati

Le infrastrutture date principalmente dalle strade e parcheggi prevedono rilevati di aggregati adeguatamente addensati e se necessario rinforzati mediante tecniche di stabilizzazione o geogriglie (interventi migliorativi di stabilizzazione dei terreni di fondazione). In corrispondenza delle superfici occupate da "parcheggi per autovetture e strade" si prevede:

- completa esportazione dello strato di terreno di coltivo dell'ordine di 50 / 100 cm;
- rullatura delle superfici di nuova costruzione;
- formazione di rilevati in aggregati compattati con eventuali legnati (stabilizzazione) o con l'eventuale interposizine di una griglia di rinforzo: Geogriglia tessuta (GGR) tipo Pavirock TPV della Viganò Pavitex.

La stabilizzazione delle terre con calce, metodo alternativo a quelli più tradizionali di sbancamento e sostituzione dei terreni, consentirebbe l'utilizzo di materiali limosi o sabbiosi non considerati idonei per la formazione di piani di posa in genere attraverso il solo trattamento in sito del materiale medesimo con leganti. Questo trattamento consentirebbe la stabilizzazione del materiale lavorato in cantiere rendendolo più resistente ai carichi con deformazioni e cedimenti ammissibili e

insensibile alle azioni dell'acqua (sotto il profilo volumetrico) e alle azioni del gelo-disgelo.

Tali operazioni offrirebbero quantomeno i seguenti vantaggi:

- riduzione dei volumi da sbancare e movimentare e delle aree di stoccaggio da occupare;
- eventuale recupero di materiali limo-argillosi presenti in sito;
- netta separazione tra gli strati trattati e strati sottostanti anche senza utilizzo di geotessili;
- incremento dell'indice CBR (portanza dei terreni), riduzione dei cedimenti stimati, incremento della resistenza all'erosione e all'azione del gelo/disgelo;
- tempi (brevi) di esecuzione, immediata resistenza ai carichi e riduzione dei costi di intervento.

Scavi e scarpate di scavo

Gli scavi previsti sono limitati ai livellamenti di progetto e alla formazione delle fondazioni e degli impianti tecnologici.

Le scarpate fino ad altezze di 1 m, in fase di scavo (a breve termine, per periodi fino a circa 2 mesi, per i rinterri di progetto) potranno avere un'inclinazione subverticale. Scarpate con altezze maggiori di 1 m, o in prossimità dei confini o sovraccarichi, dovranno essere puntualmente progettate in fase esecutiva. Si dovranno adottare le necessarie tecnologie (es. fossi di guardia, teli impermeabili) per evitare l'ingresso negli scavi di acque ruscellanti. Durante gli scavi si dovrà prevedere un adeguato monitoraggio del territorio circostante, da parte della DL e dell'Impresa.

Si raccomanda di evitare fuorisagoma. Le superfici di nuova costruzione, a fine scavo, dovranno essere livellate da progetto e stabili (es. compattate con benna dell'escavatore o rullo) prima dei getti.

Recapito fognatura acque bianche meteoriche

Risultano eseguibili la filtrazione nel sottosuolo (con limitazioni per la bassa soggiacenza della falda) e il recapito in corso d'acqua superficiale previa laminazione.

3) RELAZIONE GEOTECNICA

La presente relazione, per quanto attiene alle componenti geotecniche, definisce sulla base dei dati acquisiti e della relazione geologica, il modello geotecnico di progetto del sottosuolo ed esegue valutazioni geotecniche preliminari a supporto della progettazione delle strutture.

3.1) Modello geotecnico di progetto

Il **modello geotecnico** rappresentativo del substrato dell'area di progetto per le interazioni terreno-struttura, è stato ricostruito sulla base di tutti i dati in disponibilità. La stratigrafia del modello geotecnico è risultata uguale a quella del modello geologico. Il "valore caratteristico dei parametri geotecnici di progetto" è stato definito secondo le indicazioni del D.M. 17/1/18 paragrafo 6.2.2, adottando un valore cautelativo, secondo le indicazioni riportate nella tabella seguente.

In seguito si riporta la tabella delle procedure e delle formule utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici.

Correlazioni utilizzate per la ricostruzione del modello geotecnico da prove geologiche in situ
I parametri geotecnici dei terreni granulari incoerenti derivano principalmente dalle caratteristiche mineralogiche dei granuli di roccia, della loro granulometria, sfericità e arrotondamento, grado di alterazione e dal grado di addensamento (in relazione all'umidità) e possono essere determinati in modo ponderato da: ▪ granulometria e grado di addensamento secondo le indicazioni "Classificazione del manuale NAVFAC, 1971", correlazione (granulometria, angolo di resistenza al taglio, densità relativa, peso di volume secco); ▪ valore Vane test e poket penetrometro (misura coesione non drenata); inoltre come precisato in seguito da: ▪ valore di N_{spt} (numero di colpi di prove penetrometriche dinamiche) che costituisce un indice dello stato di addensamento dei terreni, che viene assunto come parametro principale dei suoi parametri geotecnici; ▪ valore V_s (velocita' delle onde di taglio di prove geofisiche).
Le correlazioni tra i dati ottenuti ed i parametri geotecnici sono ricavate come di seguito specificato: ▪ **N_{spt} (standard penetration test)** determinato dai valori di N_{DPSH}: $N_{spt}=N_{DPSH}*1,2 – 1,5$. Facendo la correlazione diretta con i valori di SPT misurati nel sondaggio. Mediante la formula di Terzaghi ('48) $N_{spt\ falda}=15+0.5(N_{spt}-15)$. Nspt può essere stimato anche delle Vs attraverso le correlazioni di Otha & Goto (1978), Yoshida et al. (1988), Imai (1977) e Iysam (1996); ▪ **parametri geotecnici** ***Densità relativa (Dr)*** La densità relativa è ricavata mediante la correlazione N_{spt}-Dr proposta da Peck - Terzaghi ('48) e Bazaraa ('67) tenendo conto anche della pressione geostatica verticale efficace (peso del terreno). Viene stimato sulla base della correlazione di Mayne et alii (2002) con la Vs; ***Angolo di resistenza al taglio (φ)*** L'angolo di attrito drenato viene calcolato mediante la correlazione tra N_{spt}-φ di Peck - Hanson - Thornburn ('74), Meyerhof o partendo dal valore di Dr (φ=f(Dr)) mediante la correlazione proposta da: ▪ De Mello V.F.B. (1971) sulla base dei valori di N_{spt}; ▪ Collotta et al. (1989) noti il contenuto di argilla, il limite liquido, l'indice di plasticità. Viene stimato sulla base della correlazione di Prakoso (2010) con la Vs; ***Peso di volume γ*** Viene stimato sulla base della granulometria e grado addensamento del materiale. Viene stimato sulla base della correlazione di Tezcan et. Al. 2009 con la Vs; ***Modulo elastico E_s*** Il valore del modulo elastico è stato stimato attraverso la correlazione proposta da D'Appolonia (1970), che lega i valori di E a quelli di N_{spt}.

In seguito si riporta la tabella dei parametri geotecnici determinati.

Tabella 2: modello geotecnico

MODELLO GEOTECNICO											
U	**P**	**Descrizione**	**Addensamento**	**N_{spt}**	**V_p**	**V_s**	**Parametri geotecnici valori caratteristici**				
							c'	**c_u**	**φ**	**γ_d**	**E_s**
A	4,0	Limo e argilla	poco add.	3	300	150	15	150	24	17	15
B	16,0	Sabbia	mediamente add.	13	1400	250	-	--	36	18	19
C	20,0	Sabbia e ghiaia	addensato	30	-	300	-	-	40	19	49
D	>20,0	Argilla		-	-		-	-	-	-	-

U = unità geotecnica
P = limite inferiore dell'unità geotecnica (m)
Vs = velocità delle onde di taglio (m/s)
V_p (m/s) = velocità delle onde di compressione
N_{spt} = numero di colpi medio standardizzato
c' = coesione efficacie (KPa), NB trascurabile per fondazioni

c_u = coesione non drenata, per terreni (KPa), NB trascurabile per fondazioni superficiali
per terreni si considera ponderato c' = 10 c_u
φ = angolo di resistenza al taglio (°)
γ_d = peso di volume secco (kN/m^3)
E_s = modulo elastico (MPa)

V_{S30} = 256 m/s.

Falda freatica 1,3 m da p.c.

3.2) Componente geotecnica del progetto

Per la componente geotecnica del progetto sono confermate e si richiamano le indicazioni riportate nei capitoli precedenti, per la componente geologica.

3.2.1) Componente sismica geotecnica

Per la componente sismica geotecnica del progetto sono confermate e si richiamano le indicazioni riportate nei capitoli precedenti, per la componente sismica geologica.

4) CONCLUSIONI

A supporto del progetto, è stata redatta una relazione geologica e geotecnica ai sensi della Deliberazione della Giunta Regionale 30/11/2011, n. 9/2616 e Decreto Ministeriale 17/01/2018 (Paragrafo 6.2.1 NTC 2018).

Dati dello studio geologico del PGT

Nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'articolo 57, comma 1 della Legge Regionale 11/03/2005, n. 12, al sito di intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

- Scenario di pericolosità sismica locale psl, 1° liv (Punto 2.1, Allegato 5 della Deliberazione della Giunta Regionale 30/11/2011, n. 9/2616): Z4a;
- Verifica sismica di secondo livello psl, 2° liv (Punto 2.2, Allegato 5 della Deliberazione della Giunta Regionale 30/11/2011, n. 9/2616): NON EFFETTUATA;
- Classe di fattibilità geologica (Punto 3.1 della Deliberazione della Giunta Regionale 30/11/2011, n. 9/2616): **3** fattibilità con consistenti limitazioni, scadenti caratteristiche geotecniche e limitazioni idrogeologiche.

Lo studio geologico del PGT, NON risulta aggiornato al PGRA.

Approfondimenti geologici

Il modello geologico del sito è stato redatto sulla base di prove geologiche sito specifiche, quali: n.1 sondaggio, n.5 prove SPT e n.3 granulometrie – n. 10 Prove penetrometriche DPSH – n.1 prova di permeabilità a carico variabile in foro – n.1 prove geofisiche sismica a rifrazione e MASW.

L'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio.

La presente relazione NON ha previsto approfondimenti ai sensi degli allegati alla Deliberazione della Giunta Regionale 30/11/2011, n. 9/2616 conformemente alle linee guida disponibili.

Fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico

La categoria di sottosuolo di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018 è stata definita con la procedura semplificata ed è risultata: **C**.

La categoria topografica di cui al Paragrafo 3.2.2 NTC 2018 è stata definita con procedura semplificata mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala 1:2.000 ed è risultata: **T1**.

La verifica della sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione è stata svolta mediante procedura di esclusione come previsto al punto 7.11.3.4.2 NTC da cui è risultato: **RISCHI ASSENTI**.

Parametri geotecnici caratteristici dei terreni

peso dell'unità di volume secco	17, 18, 19	kN/mc
angolo di resistenza al taglio	24, 36,40	°
coesione efficace	trascurabile	
coesione non drenata	trascurabile	
modulo elastico	15, 19, 49	MPa

Acque meteoriche

Per il recapito della fognatura a acque bianche meteoriche la soluzione indicata, relativamente agli aspetti geologici prevede: filtrazione nel sottosuolo (con limitazioni per la bassa soggiacenza della falda) e recapito in corso d'acqua superficiale previa laminazione.

Rimane a carico della Direzione Lavori la verifica in corso d'opera degli aspetti geologici e geotecnici in relazione a quanto riportato nella presente che, in caso di evidenti incongruenze, provvederà a dare immediata comunicazione al geologo.

Bergamo 15.09.25

COMUNE DI
LACCHIARELLA
Città Metropolitana
di Milano

Oggetto

PROCEDURA PER IL RILASCIO DI PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO (PAU) di cui al R.R. n°2 del 25/03/2020

RICHIESTA DI TITOLO ABILITATIVO - PERMESSO DI COSTRUIRE PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI A DESTINAZIONE PRODUTTIVA ALL'INTERNO DEL COMPARTO H2a - AMBITO DI TRASFORMAZIONE H2

Elaborato

C3.2

Titolo dell'elaborato

C3 - RELAZIONI SPECIALISTICHE

Relazione Geologica R1+R3 ai sensi Paragrafo 6.2.1 NTC 2018 e DGR 2616/2011

Proprietà

AF Green s.r.l. - Società Agricola
Strada Provinciale, n°23
Località Cascina Postino, 26815 - Massalengo (LO)
P.IVA: 01541410195

Data
Settembre 2021

Progettista:

Dott. Geologo Andrea Brambati
Corso Lodi 26 - 20135 Milano
tel. 348.3939629
e-mail: andreabrambati@alice.it
Ordine Geologi Regione Lombardia n° 1535

timbro e firma

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
ANDREA BRAMBATI
geologo specialista
Albo n. 1535 AP
sezione A

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE
   - 1.1. Premesse
   - 1.2. Quadro normativo di riferimento
   - 1.3. Elenco della documentazione consultata
   - 1.4. Terminologia utilizzata
   - 1.5. Vincoli, pianificazione e norme geologiche
2. QUADRO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO
   - 2.1. Modello Geologico di riferimento
   - 2.2. Geografia dell'area e circolazione idrica superficiale
     - *2.2.1. Interferenze con il reticolo irriguo e idrografico di scolo*
   - 2.3. Componente geologica e geomorfologica
   - 2.4. Componente idrogeologica
   - 2.5. Gli acquiferi captati
3. PROGRAMMA DELLE INDAGINI IN SITO
   - 3.1. Indagini pregresse
   - 3.2. Indagini svolte
     - *3.2.1. Prove penetrometriche dinamiche SCPT*
     - *3.2.2. Verifica delle condizioni piezometriche*
     - *3.2.3. Prova di infiltrazione*
     - *3.2.4. Prova MASW Vs 30 a 12 geofoni*
     - *3.2.5. Prospezione geofisica con metodo sismico a rifrazione*
     - *3.2.6. Sondaggio geognostico a carotaggio continuo*
     - *3.2.7. Prove geotecniche in foro*
     - *3.2.8. Analisi granulometriche*
4. ANALISI DEGLI ASPETTI SISMICI
   - 4.1. Individuazione della pericolosità del sito
   - 4.2. Valutazione dei parametri sismici sito-specifici (approccio semplificato)
   - 4.3. Analisi della suscettibilità a liquefazione

1.2. Quadro normativo di riferimento

- O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*";
- Eurocodice 7 "*Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali*";
- Eurocodice 8 "*Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*";
- D.Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49 "*Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni*";
- D.G.R. 30 novembre 2011, n. IX/2616 "*Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374*";
- D.G.R. 2129/2014 "*Classificazione sismica regionale*";
- L.R. 33/2015 "*Disposizioni in materia di costruzioni in zona sismica*";
- D.G.R. 30 marzo 2016, n. X/5001 "*Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)*";
- D.P.C.M. 27 ottobre 2016 "*Approvazione del Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico Padano*";
- D.G.R. 10/6738 del 19 giugno 2017 "*Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con Deliberazione n. 5 dal Comitato istituzionale dell'autorità di bacino del fiume Po*";
- R.R. n. 7 del 23 novembre 2017 "*Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)*";
- D.M. 17 gennaio 2018 "*Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»",* pubblicato sulla G.U. n. 8 del 20 febbraio 2018;
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 Cons. Sup. LL.PP. "*Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni»" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"*;
- R.R. n. 8 del 19/04/2019 "*Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al R.R. 23/11/2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della L.R. 11/03/2005, n. 12 "Legge per il governo del territorio")"*, pubblicato sul Supplemento 17;
- D.G.R. 9 settembre 2019 - n. XI/2120 "*Aggiornamento dell'allegato 1 ai criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12 approvati con d.g.r. 30 novembre 2011, n. 2616*";
- L.R. n. 18 del 26 novembre 2019 "*Misure di semplificazione e incentivazione per la rigenerazione urbana e territoriale, nonché per il recupero del patrimonio edilizio esistente. Modifiche e integrazioni alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio) e ad altre leggi regionali*".

1.3. Elenco della documentazione consultata

Per la redazione del presente documento si è proceduto alla consultazione dei seguenti documenti:

- Area ex Omar - Piano di caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99, redatto dal Dott. Geol. Umberto Locati nel marzo 2000;
- Relazione Tecnica allegata alla richiesta di autorizzazione per la realizzazione di n. 3 pozzi per innaffiamento aree verdi a servizio del Piano di Recupero di Villamaggiore in Comune di Lacchiarella, redatto da Teknoprogetti nel maggio 2009;
- Relazione Geologica allegata alla richiesta di autorizzazione per la realizzazione di n. 3 pozzi per innaffiamento aree verdi a servizio del Piano di Recupero di Villamaggiore in Comune di Lacchiarella, redatto da Teknoprogetti nel maggio 2009;
- Area ex Omar - Descrizione delle risultanze del Piano di Caratterizzazione di dettaglio ai sensi del D.Lgs. 152/06, redatto dalla società Globo Service S.r.l. nel luglio 2009;
- Progetto operativo di messa in sicurezza e bonifica Lotto 1 e Lotto 2 Area ex Omar, redatto dallo Studio Tedesi nel maggio 2011;
- Studio geologico del territorio comunale secondo la D.G.R. n. 8/7374 del 28/05/2008 (aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del territorio in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 11 marzo 2005 n. 12), redatto dallo Studio Geologico Trilobite nel novembre 2011 e facente parte dei documenti del PGT del Comune di Lacchiarella;
- Relazione Tecnica allegata alla richiesta di concessione per piccola derivazione di acque sotterranee da n. 2 pozzi ad uso innaffiamento aree a verde a servizio del Super Condominio "Borgo di Villamaggiore", Frazione Villamaggiore, Comune di Lacchiarella, redatta da Ambiente sc nel novembre 2013.

1.4. Terminologia utilizzata

Rischio: entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento.

Vulnerabilità: attitudine dell'elemento a rischio a subire danni per effetto dell'evento.

Pericolosità: probabilità di occorrenza di un certo fenomeno di una certa intensità in un determinato intervallo di tempo e in una certa area.

Dissesto: processo evolutivo di natura geologica o idraulica che determina condizioni di pericolosità a diversi livelli di intensità.

Microzonazione sismica: individuazione e delimitazione di zone alle quali vengono attribuiti parametri e prescrizioni finalizzati alla riduzione del rischio sismico, da utilizzare nella pianificazione urbanistica, nella progettazione di manufatti e in fase di emergenza. L'individuazione di tali zone avviene attraverso la valutazione della pericolosità di base e della risposta sismica locale.

Pericolosità sismica di base: previsione deterministica o probabilistica che si possa verificare un evento sismico in una certa area in un determinato intervallo di tempo. L'evento atteso può essere descritto sia in termini di parametri di scuotimento del suolo, sia in termini di Intensità macrosismica.

Terremoto di riferimento: spettro elastico di risposta o accelerogramma relativo a una formazione rocciosa di base o a un sito di riferimento.

Pericolosità sismica locale: previsione delle variazioni dei parametri della pericolosità di base e dell'accadimento di fenomeni di instabilità dovute alle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito.

Indagini a supporto: insieme degli studi, rilievi e indagini, commisurate all'importanza ed estensione delle opere di progetto e alle condizioni al contorno, necessarie alla verifica della fattibilità dell'intervento in progetto, alla definizione del modello geotecnico del sottosuolo e a indirizzare le scelte progettuali ed esecutive per qualsiasi opera/intervento interagente con i terreni e con le rocce.

Opere edificatorie: tipologia di opere a cui si fa riferimento nella definizione del tipo di intervento ammissibile per le diverse classi di fattibilità geologica.

Zona di rispetto dei pozzi a scopo idropotabile: è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta, da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata. Può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia dell'opera di captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa (v. D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 - art. 94, comma 4).

Zona di tutela assoluta dei pozzi a scopo idropotabile: è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni; deve avere un'estensione di almeno 10 m di raggio dal punto di captazione, essere adeguatamente protetta e essere adibita esclusivamente a opere di captazione e a infrastrutture di servizio (v. D.Lgs. 03/04/06 n. 152 "*Norme in materia ambientale*", art. 94, comma 3).

1.5. Vincoli, pianificazione e norme geologiche

In relazione agli aspetti urbanistici, si è fatto riferimento alle norme e prescrizioni fornite dalla L.R. 12/05, art. 57 "*Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*" e dalle relative Delibere attuative, nonché da quanto prescritto per il territorio comunale nell'ambito della normativa di attuazione. Il Comune di Lacchiarella, nella seduta di Consiglio Comunale del 4 ottobre 2012, ha approvato il PGT. Il Piano di Governo del Territorio approvato nel 2012 è rimasto efficace sino al 2019. Nella seduta di Consiglio Comunale del 24/07/2019 è stato approvato il nuovo Piano di Governo del Territorio, nonché i piani e gli studi correlati, con DCC n. 22.

Il territorio comunale di Lacchiarella risulta suddiviso in 3 classi di fattibilità geologica; queste classi, distinte in funzione delle loro caratteristiche di propensione al dissesto idrogeologico e alle condizioni di edificabilità, sono le seguenti:

- CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI;
- CLASSE 3 - FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI;
- CLASSE 4 - FATTIBILITÀ CON GRAVI LIMITAZIONI.

Questa zonizzazione geologica del territorio comunale ha come finalità quella di fornire indicazioni in merito ad attitudini e vincoli per la formulazione e la valutazione delle proposte di pianificazione, pertanto precede le proposte urbanistiche relative alla definizione delle aree di possibile espansione. In funzione delle proposte dell'ambito di intervento in esame, nel prosieguo della relazione saranno definite in termini più puntuali le condizioni di fattibilità geologica delle opere previste, considerando l'individuazione delle attitudini e delle limitazioni connesse alle caratteristiche del sottosuolo, nonché le prescrizioni tecniche che costituiscono parte integrante delle norme del PGT.

La carta di fattibilità viene desunta dalla carta dei vincoli, che individua le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto geologico, e dalla carta di sintesi, che propone una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologico-geotecnica e della vulnerabilità idraulica e idrogeologica attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono.

L'area d'intervento ricade nella **Sottoclasse di fattibilità geologica 3b** con consistenti limitazioni all'edificabilità, per problematiche di pericolosità legate all'assetto idrogeologico (bassa soggiacenza della falda, che si attesta a profondità inferiori a 2,5 m dal piano campagna locale).

Per tale sottoclasse "*si sconsiglia l'insediamento di industrie insalubri data l'elevata vulnerabilità dell'acquifero e la realizzazione di box e scantinati interrati. Se le fondazioni sono di tipo indirette (pali, micropali) nella relazione ad accompagnamento del progetto dovranno essere indicate le metodiche che si intende adottare al fine di evitare l'interferenza fra le acque superficiali e la falda freatica. L'elevata soggiacenza della falda comporta inoltre una riduzione della capacità portante dei terreni di fondazione, pertanto dovranno effettuarsi indagine specifiche finalizzate alla determinazione dei parametri geotecnici*".

Indagini preventive necessarie

In tali aree sono necessarie puntuali valutazioni ed indagini geotecniche, attraverso apertura di trincee, sondaggi geognostici e misura diretta della soggiacenza della falda, e valutazione delle eventuali oscillazioni stagionali della stessa. Per edifici pubblici o strategici dovrà essere valutata la risposta sismica locale mediante indagini specifiche. Esse dovranno essere effettuate nel rispetto

delle prescrizioni contenute nelle normative vigenti, con particolare riferimento al D.M. 14 gennaio 2008 durante la fase attuativa di ogni singolo progetto. Le indagini, dovranno essere mirate al controllo delle condizioni di stabilità degli scavi, dell'efficacia delle opere di sostegno, dell'interazione struttura-terreno ed all'interferenza con la sottostante falda. Gli studi dovranno porre particolare attenzione alle soluzioni idrogeologiche più idonee al fine di salvaguardare gli acquiferi.

Interventi da prevedere in fase progettuale
In tutti i casi, dovranno essere previste opere di salvaguardia alla falda tramite la realizzazione di idonee fognature atte allo smaltimento delle acque superficiali e non; ciò, in considerazione del grado di permeabilità dei depositi alluvionali al fine di evitare possibili inquinamenti. Dovranno essere previsti interventi di impermeabilizzazione per ridurre l'interferenza struttura-falda tramite interventi che prevedano, durante le fasi di scavo per la realizzazione delle fondazioni della struttura, l'adozione di idonee misure (well-point) atte all'allontanamento dell'acqua di falda nelle fasi di realizzazione e posa delle fondazioni.

Per le aree ricadenti in classe di fattibilità 3, l'edificabilità può comunque essere attuata con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi e/o di preventiva salvaguardia idrogeologica, opportunamente dimensionati sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche che devono puntualmente valutare le condizioni limitative all'edificabilità.

Per quanto riguarda la componente sismica, il Comune di Lacchiarella, secondo la classificazione dei comuni lombardi di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129 "*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art.3, c. 108, lett. d)*", entrata in vigore il 10 aprile 2016 (v. D.G.R. 8 ottobre 2015, n. X/4144), ricade in **Zona sismica 3**, con 0,05<ag<0,15, zona ove possono verificarsi forti terremoti ma rari.

L'area di intervento è classificata all'interno dello scenario di **Pericolosità Sismica Locale Z4a**, Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi - effetti di amplificazione litologica, della D.G.R. 30 novembre 2011, n. IX/2616, Allegato 5. Nelle zone PSL Z4 i comuni in Zona sismica 3 devono effettuare gli approfondimenti di II° livello se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile.

Il p.to 2.3.2. dell'Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616 contempla la possibilità di esclusione della verifica a liquefazione per assenza dei fattori scatenanti. Qualora questi siano presenti, per assenza dei fattori predisponenti, salvo utilizzare procedure di analisi avanzata che richiedono la descrizione adeguata del comportamento meccanico in condizioni cicliche, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico.

Per quanto concerne i servizi del sottosuolo, allo stato attuale le reti tecnologiche ricostruite su base documentale (ovvero desunte dal **PUGSS**, di cui l'Amministrazione comunale risulta dotata), per l'area in esame comprendono la sola rete elettrica di illuminazione pubblica e l'oleodotto, mentre sono assenti l'acquedotto, le condutture per la distribuzione del gas e le condutture fognarie.

L'area di interesse NON RICADE:
- in ambiti soggetti a tutela ai sensi del D.Lgs. 42/2004 (ad eccezione di limitate porzioni di aree boscate);

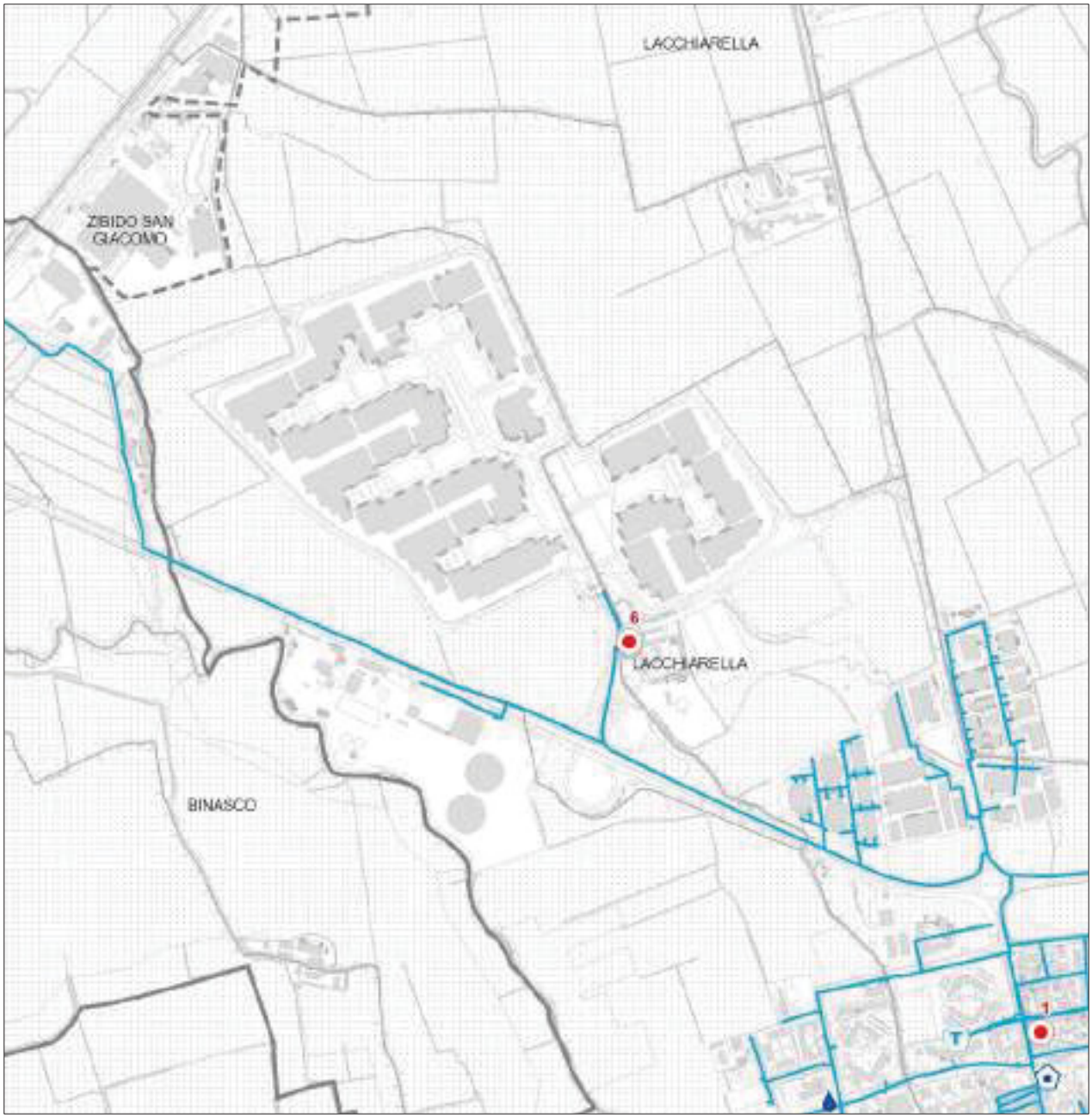
- in zona sottoposta a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/1923;
- in zona interessata da esondazioni storiche o scenari di pericolosità e rischio individuati nel **PGRA – rev. 2020** (v. Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010"*Adozione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Padano (PGRA) e del Progetto di Variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po (PAI)*");
- nella ZSC IT2050010 "Oasi di Lacchiarella", classificata dal PTC del Parco Agricolo Sud Milano come "*Riserva naturale orientata*".

All'interno del **Piano di emergenza comunale** (redatto nel 2013) e del **Documento semplificato del rischio idraulico comunale** (redatto nel settembre 2018), non si segnalano, per l'area in studio, zone a rischio idraulico o soggette ad allagamento in caso di eventi meteorici eccezionali.

Non essendo attualmente approvato uno studio sul **Reticolo Idrico Minore**, sussistono i vincoli del R.D. 368/1904 e del R.D. 523/1904.

Nei pressi della porzione sud-occidentale dell'ambito, al confine con il Centro Commerciale all'Ingrosso "Il Girasole", è presente il nucleo cascinale di Coriasco, al cui interno, al Foglio 7 - mappale 17, è posizionato il pozzo comunale con codice SIF 0151150006, per il quale è stata istituita la fascia di rispetto di 200 m di raggio. Nel seguito si riportano la monografia del pozzo e la documentazione fotografica dello stesso (dati CAP). Altri due pozzi, privati, si trovano a ovest in Comune di Binasco, nella frazione Badile, ampiamente al di fuori dell'area di intervento. Essi sono ubicati idrologicamente a monte dell'area di intervento, pertanto non sono da considerarsi potenziali recettori di eventuali contaminazioni che potrebbero generarsi in fase di cantiere o in fase di esercizio.

Ubicazione pozzi per acqua in frazione Badile.



Condotte rete acquedottistica (dati CAP).

Documentazione fotografica pozzo per uso potabile presso C.na Coriasco.

LACCHIARELLA - MI -

CODICE_SIF	**0151150006**
IDENTIFICATIVO POZZO	**POZZO 6**

DATA RILEVO	INDIRIZZO	NOME IMPIANTO	DATI CATASTALI
Novembre 2012	Cascina Coriasco	Cascina Coriasco	Foglio 7 Mappale 17

ACCESSO
pubblico

UBICAZIONE
Pozzo situato nell'area CAP in Cascina Coriasco di fronte all'entrata del centro del commercio "Il Girasole"

NOTE

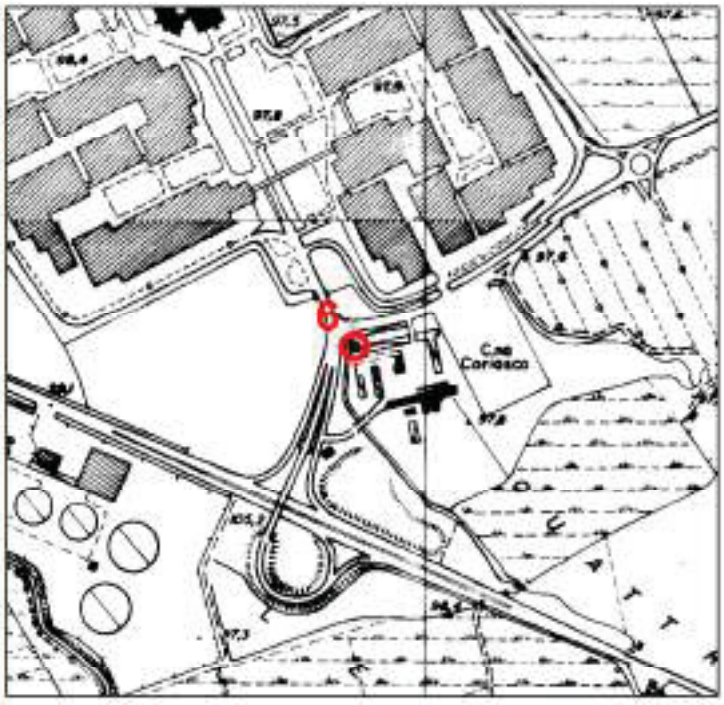
Presenza vertice di riferimento GPS 4285 posto sul cordolo del marciapiede di fronte all'edificio CAP

Quota punto rilevato: 99,74 m

Profondità testa pozzo: 1,87 m

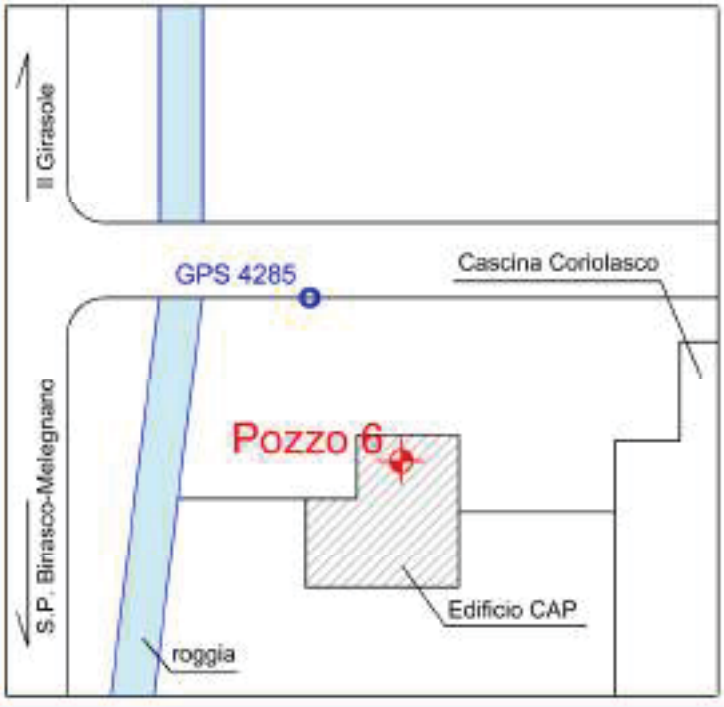
Cartografia Tecnica Regionale 1:10000

tavola di riferimento B7B1



Fotografia

Schizzo monografico



Coordinate Pozzo

Riferimento quote: FLANGIA

Geografiche (WGS84)

φ: **45° 19' 54,5069"** $H_{ell.}$: **139,65 m**

λ: **9° 07' 33,9293"**

Piane (UTM-WGS84)

N: **5019818,94 m**

E: **509880,41 m**

Piane (Gauss-Boaga)

N: **5019838,32 m** H: **97,87 m**

E: **1509907,44 m**

Targhetta s.l.m. 97,79 m.s.l.m.

Settore Acquedotto - LACCHIARELLA (MI)

1 – Anagrafica			
Servizio	Acquedotto		
Comune	LACCHIARELLA		
Provincia	MI		
Codice istat	015115		
Ubicazione	Cascina Coriasco		
Tipologia	Area Impianto		
Vita residua impianto			
Coordinate UTM	Nord:	5019818.81	Est: 509880.41
Cod Impianto DIM	260		
Cod Dett Impianto Rim	288		
Codice ID GIS			
ID Entità Geografica	23469471		
Note	Pozzo 6.		

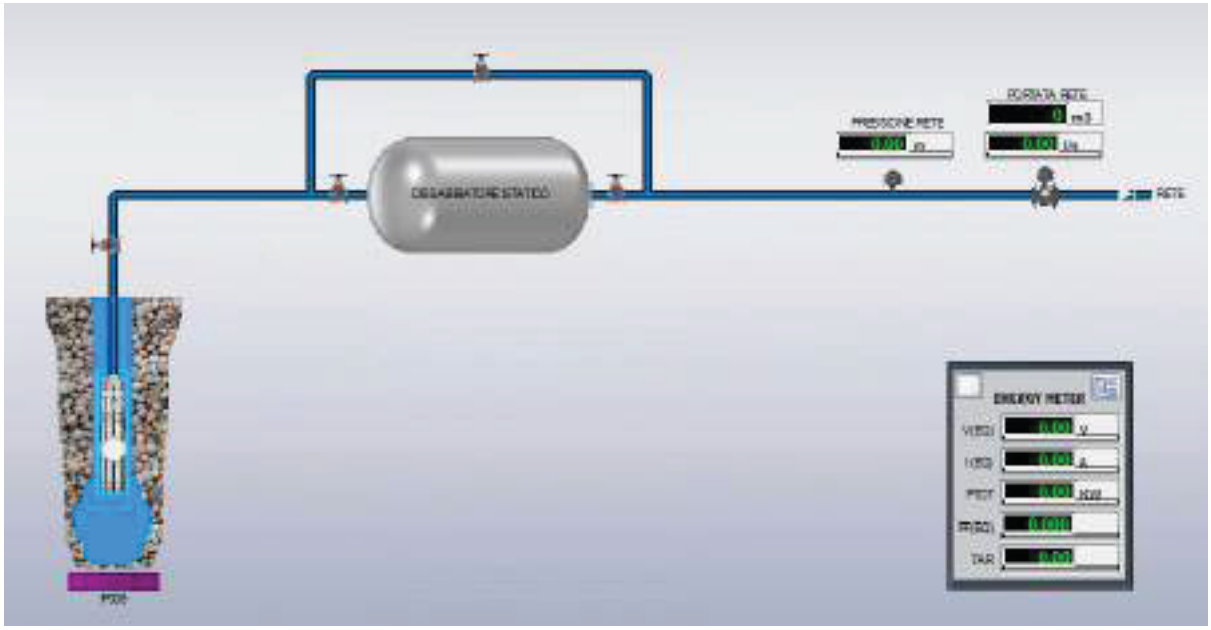
2 – Dati Catastali									
Fg	**Mapp**	**Sub**	**Proprietà Area**	**ha**	**are**	**ca**	**Cat.**	**Titolo uso area**	**Servitù passive**
7	17		Comune		37	20	Sem Irr		

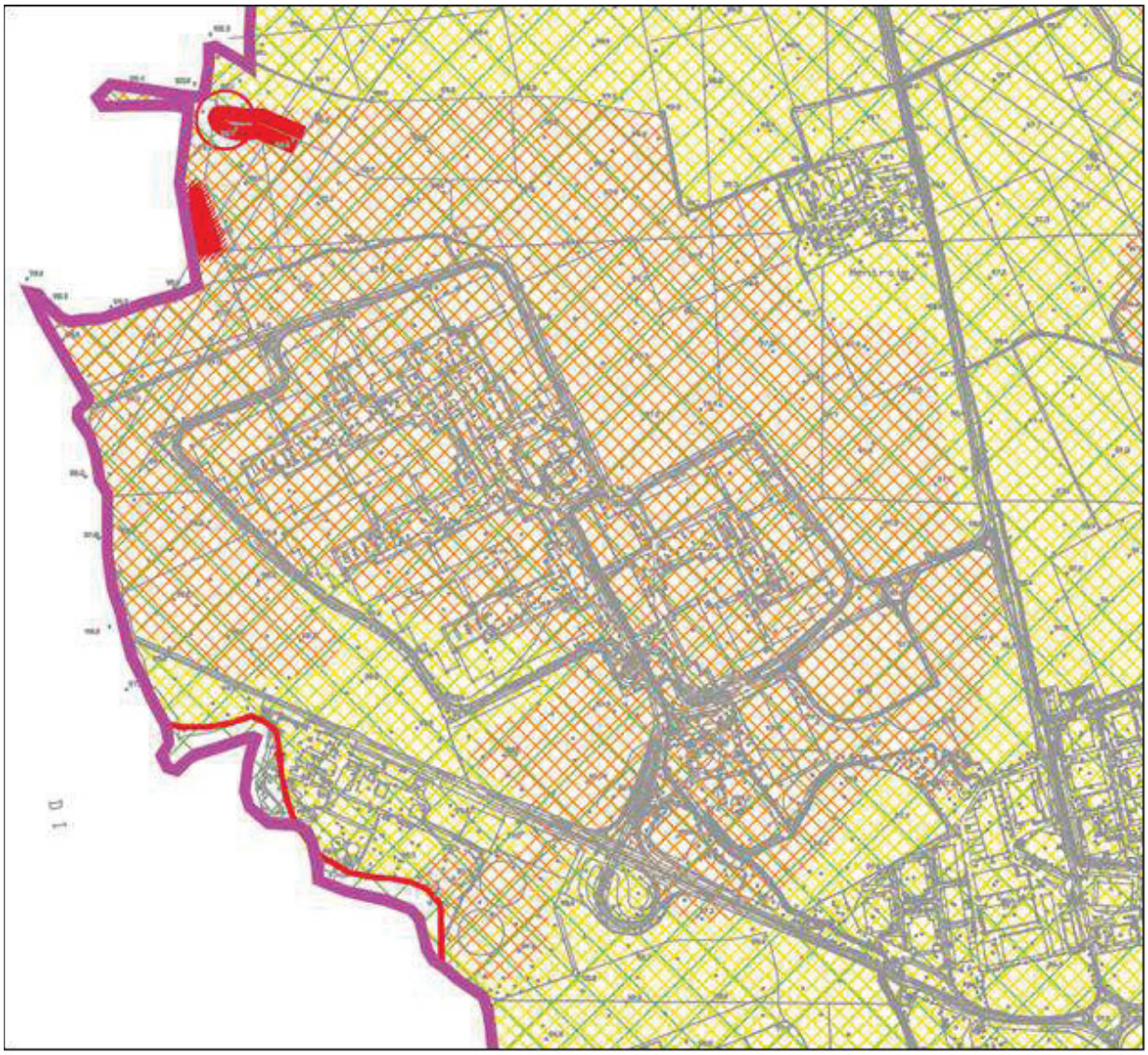
3 – Proprietà impianto	
Proprietà Impianto	

4 – Caratteristiche Captazione						
Codice SIF	Anno di costruzione	Ultimo Revamping	Profondità colonna [m]	Diametro colonna [mm]	Portata di concessione [l/s]	Scadenza concessione
0151150006	1981		94,5	600/350	35	09/08/2029
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

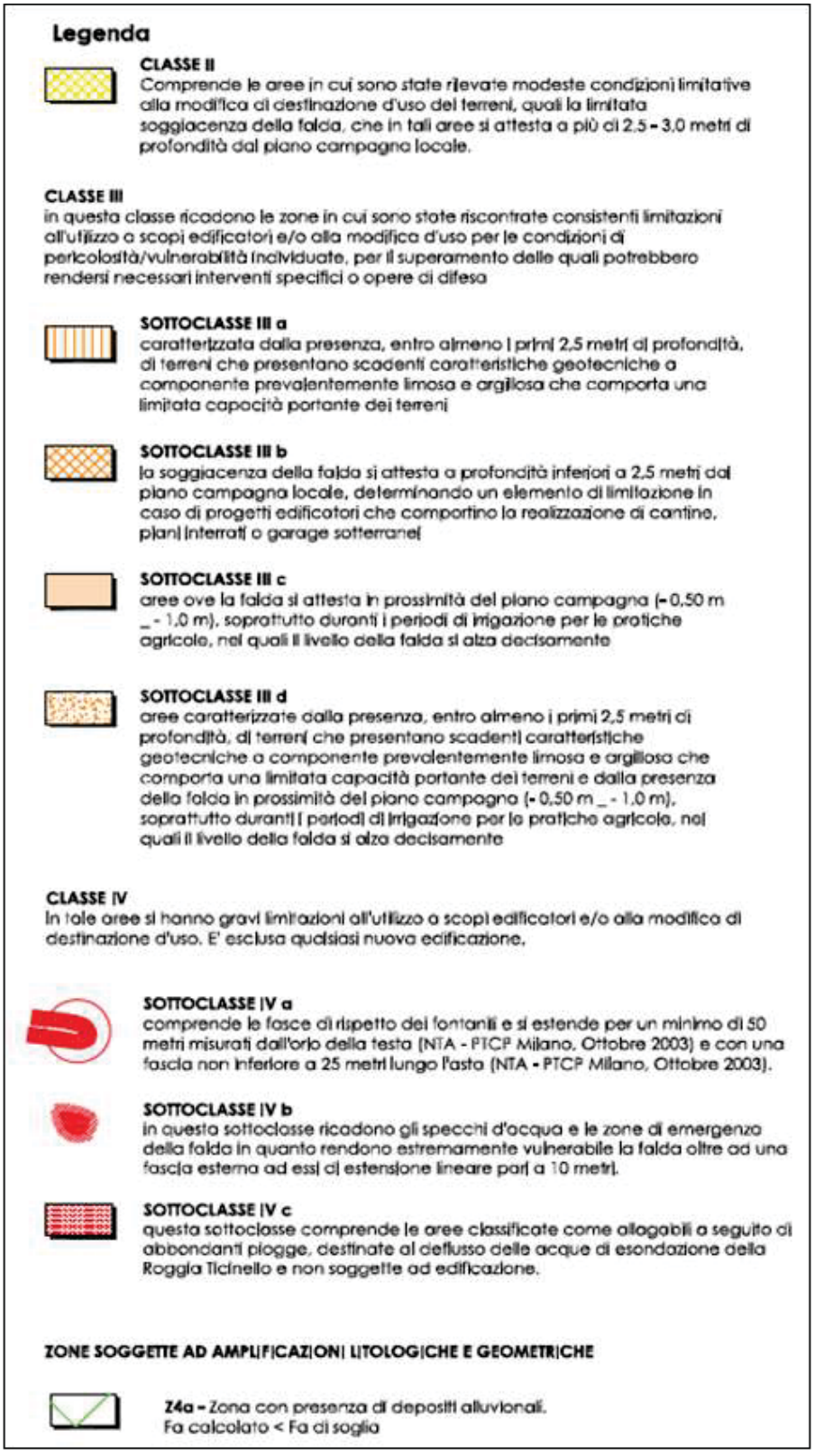
5 – Caratteristiche Impianto

Tipo	Codice	Dettaglio Impianto RIM	Attivo	Ossidazione	Osmosi	GAC	Miscelazione	Disinfezione	Acquedotto	Codice Zona
AREA	**	288	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LACCHIARELLA-SIZIANO	SA Sud

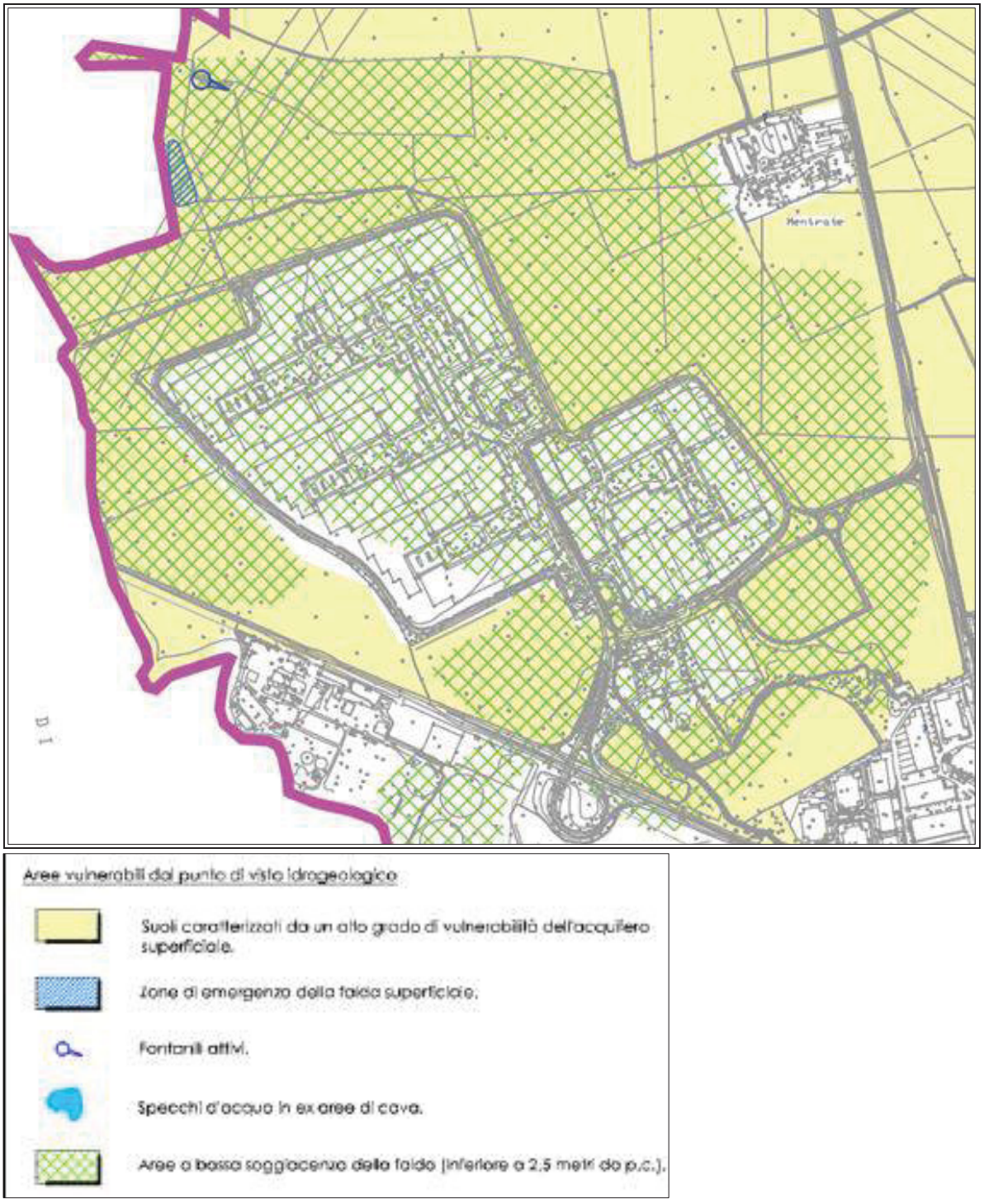




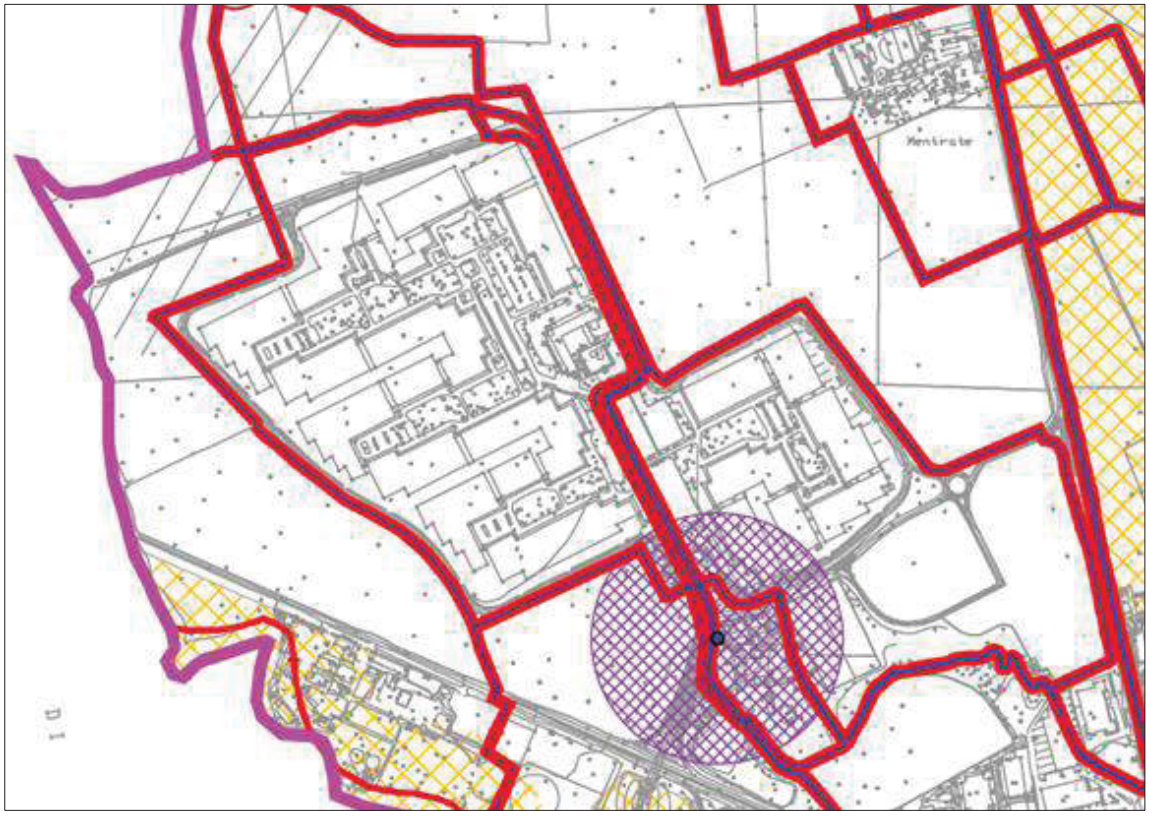
Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 11 - Carta della Fattibilità Geologica. In questa carta sono indicate le prescrizioni, dal punto di vista idrogeologico e geologico-tecnico e sismico necessarie al fine di programmare nel miglior modo le attività consentite sul territorio.



Carta della Fattibilità Geologica: Legenda.



Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 10 - Carta di Sintesi (settembre 2018).



Aree di salvaguardia delle risorse idriche

Zona di tutela assoluto dei pozzi idropotabili avente raggio 10 m, adibita esclusivamente alle opere di presa ed a quelle di servizio. Vincolata dall'Art. 94 del D. Lgs. 152/06e succ. modifiche.

Zona di rispetto dei pozzi idropotabili secondo il criterio geometrico (200 m di raggio del pozzo), comprendente la zona di tutela assoluta (10 m di raggio dal pozzo), definite ai sensi della D.G.R. Lomb. 15137/96 e D.G.R. 7/12693 del 2003. Tale area è vincolata dall' Art. 94 del D.Lgs 152/2006 e succ. modifiche.

Fascia di rispetto dei fontanili attivi

Fascia di rispetto delle teste dei fontanili attivi, pari a 50 metri misurati dall'orlo della testa, e fascia di rispetto delle aste dei fontanili attivi pari a 25 metri lungo entrambi i lati dei primi 200 metri dell'asta (Art. 29 delle Norme Tecniche di Attuazione del PTCP di Milano_2013).

Vincoli di polizia idraulica del reticolo idrografico

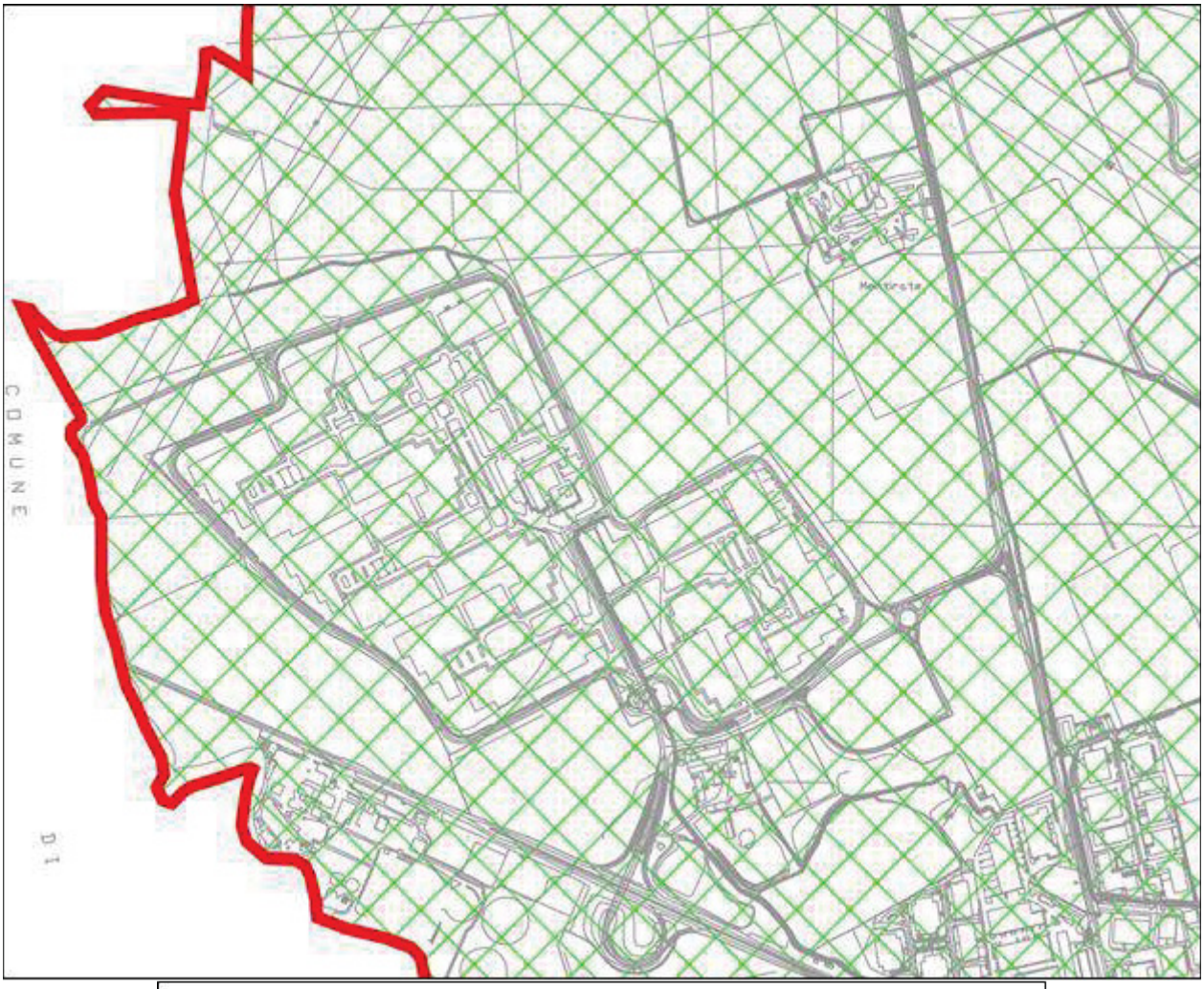
Fascia di rispetto di 10 metri (misurata dal piede degli argini e loro accessori) della Roggia Ticinello/Caronna, interdetta all'edificazione così come riportato nell'Allegato B del Regolamento di Gestione di Polizia Idraulica del Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi (Approvato con D.G.R. n. X/6037 del 19 dicembre 2016 pubblicata sul BURL Serie Ordinaria n. 52 del 30 dicembre 2016).

Fascia di rispetto di 10 metri (misurata dal piede degli argini e loro accessori), interdetta all'edificazione ai sensi del R.D. 25/07/1904, n. 523, su tutti i corsi d'acqua del territorio comunale, non essendo ancora stato approvato lo Studio sul Reticolo Idrico Minore. In tale fascia sussistono le limitazioni previste dal R.D. 368/1904 e dal R.D. 523/1904.

Vincoli paesaggistici

Parchi Regionali "Parco Agricolo Sud Milano" - art. 142 comma 1, lettera f, D.lgs 42/2004 (*).

Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 8 - Carta dei Vincoli (settembre 2018).



Legenda

Scenario della pericolosità sismica locale definita in base alla Tabella 1, Allegato 5, della D.G.R. Lomb. n.IX/2616 del 30/11/2011 (Aggiornamento dei *"Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art.57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005 n.12"*).
In tali aree possono verificarsi effetti sismici locali di instabilità a seguito di eventi sismici.

Scenario di pericolosità sismica (studio di I livello)

Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi soggetta ad amplificazioni litologiche e geometriche.

Stralcio della Carta della pericolosità sismica locale.

2. QUADRO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

2.1. Modello Geologico di riferimento

Il Modello Geologico di riferimento è stato sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici.

La ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, esposta e commentata nei paragrafi seguenti, è stata formulata attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La ricostruzione dello stato del territorio è stata resa possibile dalla consultazione e verifica degli strati informativi territoriali e ambientali messi a disposizione da Regione Lombardia; si sono altresì utilizzati, come temi e strati aggiuntivi, sia dati di parte che dati preesistenti, recuperati da archivio o prodotti da altri professionisti.

2.2. Geografia dell'area e circolazione idrica superficiale

Il comparto in esame insiste sulla porzione nord occidentale del territorio comunale di Lacchiarella nell'ambito della media pianura milanese e rientra nel Foglio 45 – Milano, a scala 1:100.000. Dal punto di vista cartografico, il sito in oggetto è individuabile anche sulla Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) della Regione Lombardia, in scala 1:10.000.

L'area risulta esterna al Parco Agricolo Sud Milano ed è collocata subito a nord del centro per il commercio internazionale "Il Girasole"; essa dista circa 1,5 Km dal centro abitato del Comune di Lacchiarella, circa 1 Km dal casello autostradale di Binasco dell'A7 Milano-Genova e poco meno di 16 Km dal casello autostradale dell'A1 di Melegnano.

Il territorio è caratterizzato da un'orografia pressoché pianeggiante, trovandosi ad un'altitudine compresa tra i 96 m e i 98 m s.l.m. Per quanto concerne le condizioni topografiche, nella tab. 3.2.III delle NTC 2018 sono classificate le diverse configurazioni superficiali; per ciascuna categoria la tab. 3.2.V delle NTC prevede un coefficiente topografico S_T. Il comparto in esame ha una pendenza media di 0,12 gradi, derivata dal modello digitale del terreno del territorio regionale a cella 20x20m; per configurazioni superficiali semplici come quella in esame non sono attese amplificazioni e, adottando la classificazione prevista dalle NTC, risulta la categoria T1: "*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media* $i \leq 15°$". Il valore del coefficiente topografico S_T corrispondente alla categoria topografica T1, è $S_T = 1$.

Il piano quotato è stato ricavato dal *DTM 5X5 - modello digitale del terreno (ed. 2015)* del Geoportale della Regione Lombardia, utilizzando le Ortofoto AGEA 2015 sempre distribuite da Regione Lombardia e verificando in ambiente GIS che i poligoni digitalizzati non ricadessero all'interno di terreni con pendenze elevate (>15°), tramite l'elaborazione di una carta delle pendenze derivata dal

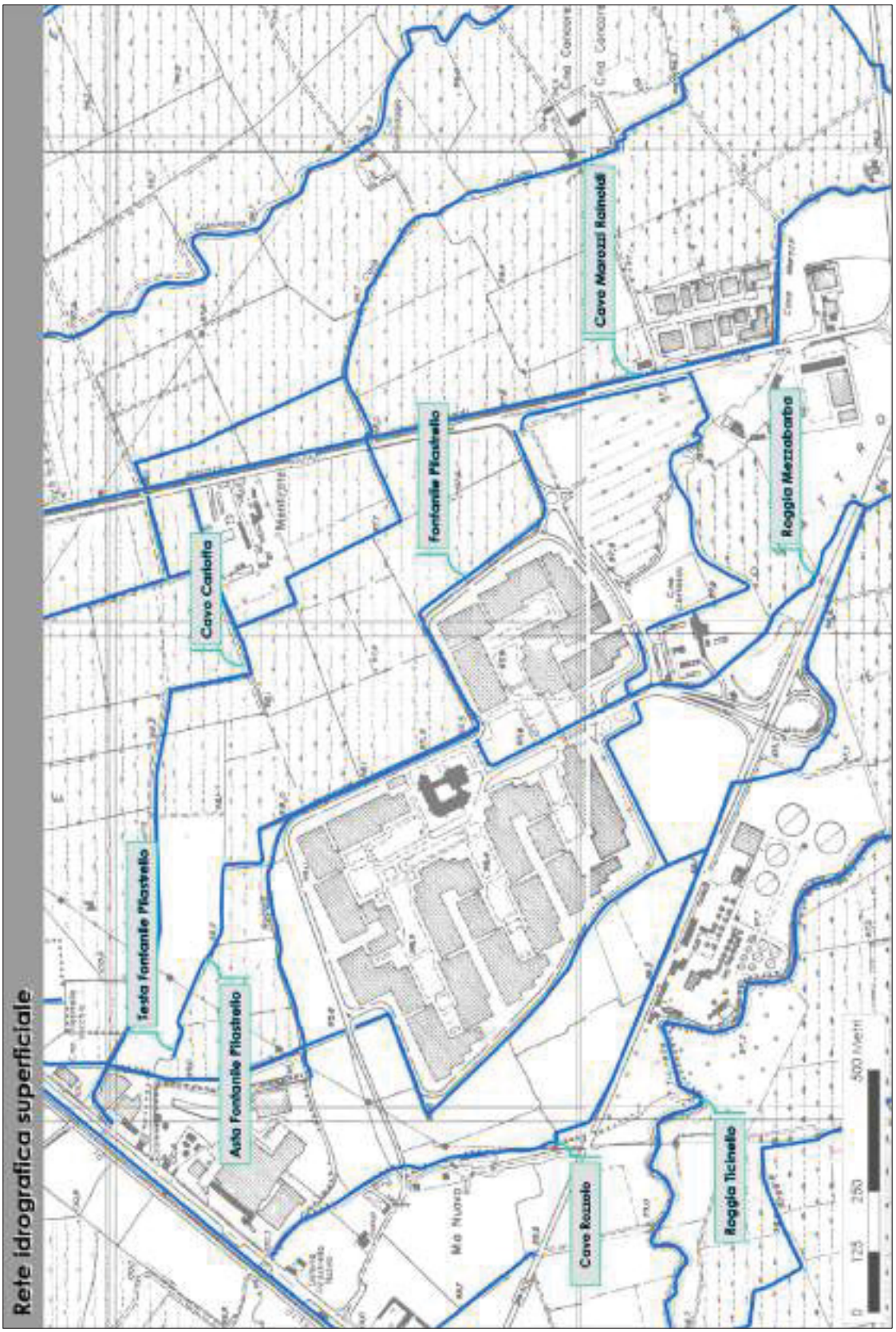
citato DTM per verificare che i poligoni digitalizzati fossero collocati correttamente rispetto agli elementi naturali ed antropici al contorno.

L'area in esame rientra nell'Unità paesistico-territoriale della media pianura irrigua, come definita dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale. Essa presenta un substrato costituito da sabbie e sabbie limose ed è caratterizzata da una vocazione ancora agricola che mantiene gli elementi del paesaggio ben riconoscibili, anche se intorno ai maggiori centri urbanizzati continuano a svilupparsi le espansioni edilizie. Le colture prevalenti sono i seminativi, soprattutto a mais e a foraggere.

Il sistema di rogge che va a formare la rete irrigua esistente è costituito, nell'area d'intervento e in un suo significativo intorno, dal *Fontanile Pilastrello* e dalla *Roggia Mezzabarba* o *Mezzabrasa* lungo il perimetro ovest e sud dell'ambito, dal *Cavo Carlotta* lungo il perimetro est, dalla *Roggia Ticinello* o *Roggia Caronna* a sud della SP40 Binaschina, dal *Cavo Marozzi Rainoldi* a est della SP105 Badile-Lacchiarella, con andamento nord-sud, e infine dal *Cavo Borromeo*. I canali maggiormente distribuiti entro l'area di studio hanno ampiezza di circa 1.5-2 m e alveo in terra; essi si mantengono in alvei a decorso prevalentemente rettilineo, più di rado meandriforme (Roggia Ticinello) e le portate sono generalmente di 200-300 l/s. A questi si aggiungono i canali adacquatori minori (cavi irrigui e canali di sgrondo dei campi).

Testa del fontanile Pilastrello. I fontanili, per le loro caratteristiche di rappresentatività e l'elevato valore ecologico e ambientale, possono essere considerati un "*bene geologico*", secondo le indicazioni riportate nella D.G.R. del 6 agosto 1998 n. 6/37918.

Piano quotato.



Rete idrografica superficiale.

Asta fontanile Pilastrello.

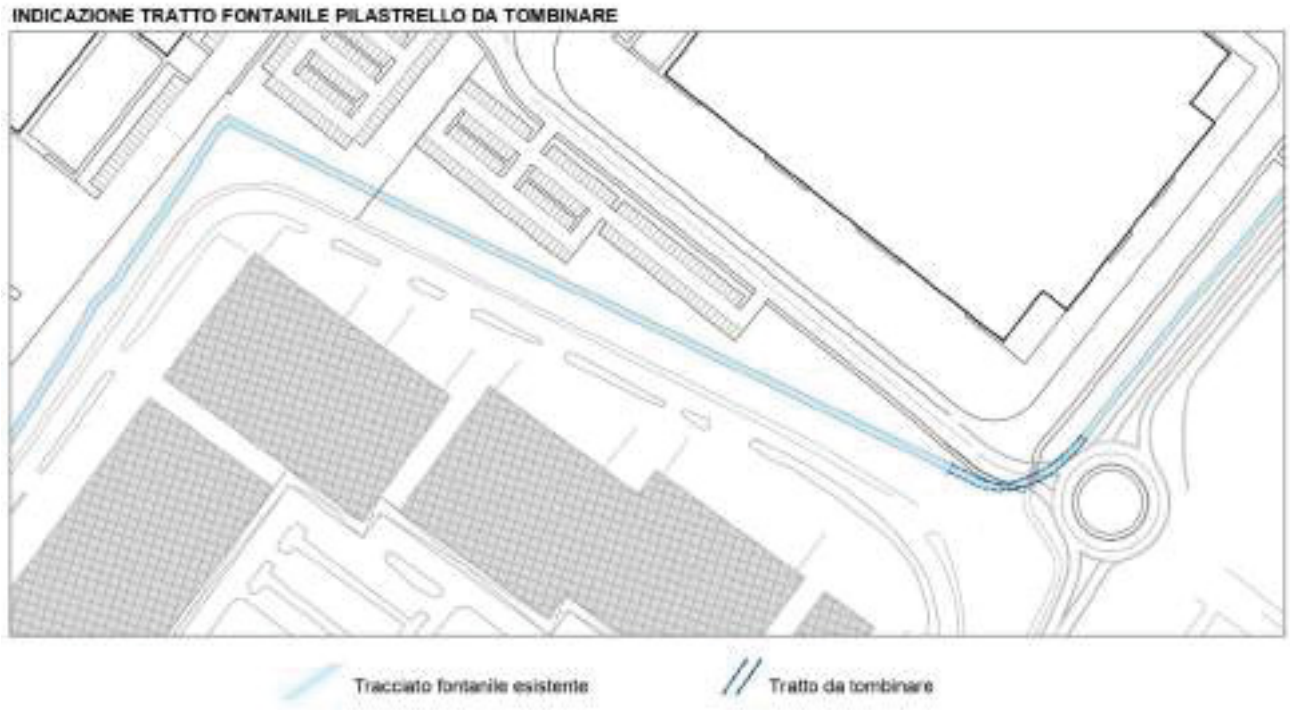
Cavo Carlotta.

Cavo irriguo.

Roggia Mezzabarba.

2.2.1. Interferenze con il reticolo irriguo e idrografico di scolo

Durante la fase di attuazione degli interventi un tratto del fontanile Pilastrello, come si evince dalle tavole allegate al progetto, verrà tombinato per un tratto di circa 40 metri in corrispondenza dell'innesto della viabilità di accesso agli edifici B1 e B2 nella rotatoria. Le opere in progetto consistono, allo stato attuale, nell'inserimento di uno scatolare in c.a. prefabbricato del diametro di 120/140 cm. La portata attuale sarà garantita e, in linea generale, le operazioni sulla roggia non andranno a compromettere né la sicurezza idrogeologica né la funzionalità idraulica del comparto in esame.

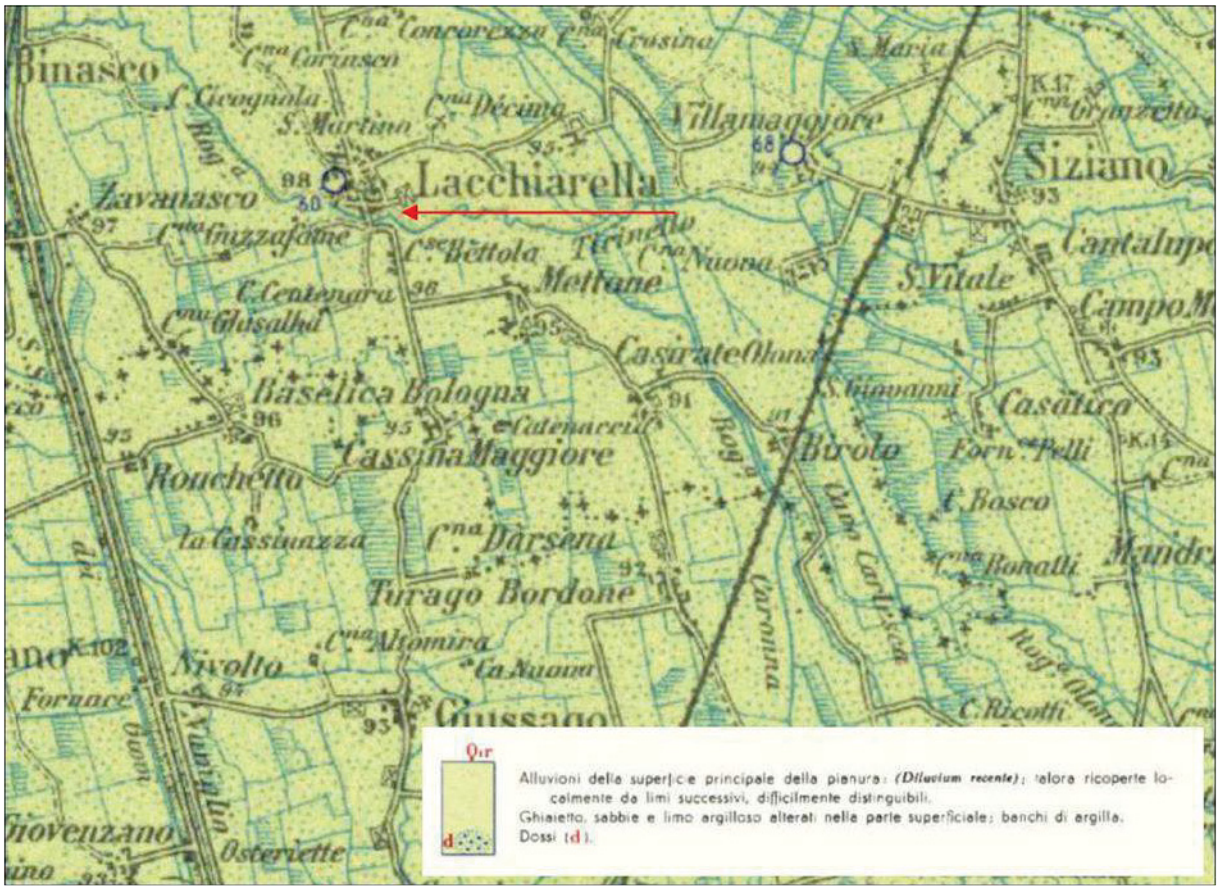


2.3. Componente geologica e geomorfologica

La litologia della zona è profondamente influenzata dagli eventi quaternari che hanno determinato la formazione della pianura alluvionale, con la deposizione di potenti coltri detritiche di granulometria eterogenea. Più generalmente, le formazioni che interessano la Pianura Padana sono raggruppabili nel Quaternario Continentale, che si divide in:

- Depositi Morenici
- Diluvium Antico
- Diluvium Medio
- Diluvium Recente

L'area in esame appartiene al Foglio n. 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, non è stata invece ancora inserita nei Fogli del Progetto Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del CARG Lombardia.



Estratto del Foglio 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

L'area appartiene al *"Diluvium recente*" (Pleistocene Superiore), cioè a quei depositi che occupano la maggiore estensione della pianura lombarda e ne costituiscono il cosiddetto "*livello principale*"; loro caratteristica morfologica principale è una struttura a conoidi appiattiti prodotti dall'azione dei corsi d'acqua post-glaciali, che si dispone in un unico livello debolmente inclinato verso il Po,

interrotto dalle incisioni dei corsi d'acqua attuali con i relativi depositi.

Il grado di alterazione è più basso rispetto ai diluvium più antichi e si nota una sensibile differenziazione granulometrica tra la zona a nord e quella a sud del limite settentrionale della fascia dei fontanili, la quale si snoda, con andamento est-ovest, da Novara fin poco oltre Brescia; tale limite corrisponde al passaggio tra le sabbie-ghiaie e le sabbie limose.

Più in dettaglio l'area d'intervento è caratterizzata dalla presenza di sedimenti di natura alluvionale, che si presentano sotto forma lenticolare talora con limitata estensione areale. Il sottosuolo è costituito prevalentemente da materiale tendenzialmente fine a scheletro sabbioso e con rara ghiaia, talora intercalato da livelli decisamente limosi e/o argillosi alterati nella parte superficiale. Le sabbie al di sotto della falda freatica sono soggette a lavatura e quindi risulta assente la componente argillosa ("*sabbie vive*").

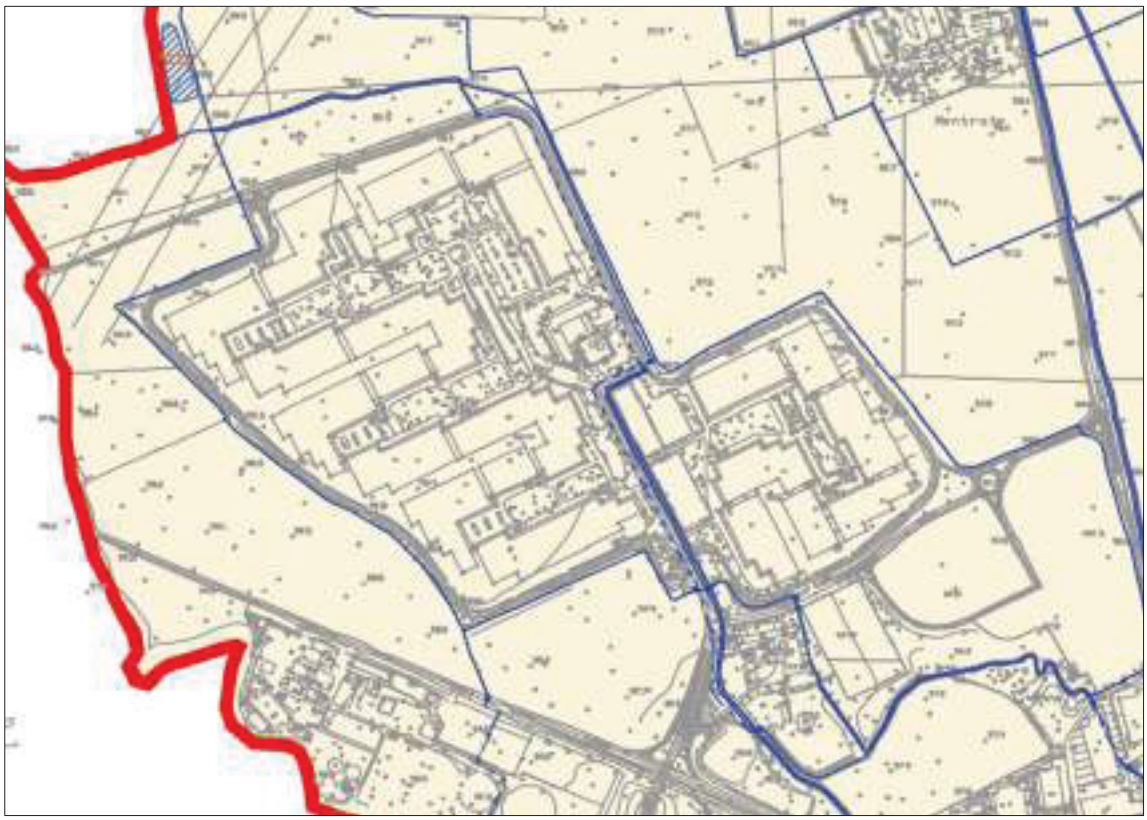
Per un'analisi della geomorfologia del territorio si è fatto ricorso alle fotografie aeree, in particolare alle foto aeree a colori, a scala 1:20.000 circa, eseguite dalla Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma su commissione della Regione Lombardia. L'interpretazione di tali fotografie aeree permette il riconoscimento sia delle forme superficiali attualmente in evoluzione, sia delle forme ormai disattivate e testimoni di dinamiche geomorfologiche completamente differenti da quelle attualmente presenti nell'ambito padano. L'uso della foto-interpretazione rientra in ogni metodologia di studio approntata per aree di pianura; in particolare per lo studio di quest'area si è cercato quanto più possibile di adeguare la metodologia a quella proposta da Castiglioni et Al. (1986).

Il territorio in esame rientra nella cosiddetta Unità Geomorfologica "*LF - Livello Fondamentale della Pianura*" (L.F.d.P.), costituita da depositi terrazzati tardo pleistocenici e nota in Letteratura anche con il nome di "*Piano Generale Terrazzato*". Non più interessato dall'idrografia principale e caratterizzato da tracce di idrografia abbandonata, il Livello Fondamentale della Pianura costituisce una forma non più attiva, fatta eccezione per fenomeni geomorfologici di minor entità attivi solo localmente.

I processi che formarono questa superficie sono polifasici e il corpo sedimentario è attribuibile a più eventi: la superficie continua e arealmente estesa del Livello Fondamentale della Pianura testimonia l'arresto di ogni fase di aggradazione fluviale su di essa, verificatosi un momento prima dell'instaurarsi di condizioni fortemente erosive del Po e dei suoi affluenti di sinistra: i fiumi, infatti, scorrono entro larghe valli incassate, occupandone spesso una porzione estremamente ridotta.

Geomorfologicamente il territorio in esame risulta subpianeggiante, senza evidenza di dinamiche in atto e di elementi morfologici degni di nota. Le uniche forme morfologiche evidenti sono legate alla presenza di piccole scarpate connesse ai canali e rogge principali.

Si riporta di seguito uno stralcio della Tav. 2 - Carta Geologico-Geomorfologica, allegata all'interno della Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT (settembre 2018).



Elementi legati alla geologia.

Alluvioni della superficie principale della pianura (*Diluvium Recente*), talora ricoperte localmente da limi successivi difficilmente distinguibili. Tali alluvioni sono costituite da ghiaietto, sabbie e limo argilloso alterati nella parte superficiale; banchi di argilla.(Pleistocene Superiore).

Elementi legati all'aspetto geomorfologico e idrogeologico.

Orlo di scarpata fluviale.

Argine artificiale.

Paleomeandro della Roggia Ticinello.

Meandro attivo della Roggia Ticinello.

Specchi d'acqua in ex aree di cava.

Area di cava inattiva.

Fontanili attivi.

Zone di emergenza della falda.

Elementi legati all'aspetto idrografico.

Roggia Ticinello o Roggia Caronna facente parte del reticolo secondario di competenza del Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi (All.C della D.G.R. n° X/7581 del 18 dicembre 2017)

Rete idrografica secondaria (desunta dal confronto tra catasto, I.G.M. e CTR). Indicati con (a) i tratti intubati e con (b) tratti intubati incerti. Comprende corsi d'acqua di privati e di consorzi minori.

Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 2 - Carta Geologico-Geomorfologica.

2.4. Componente idrogeologica

La struttura idrogeologica della Pianura Padana è il risultato della sedimentazione plio-pleistocenica: i sedimenti basali sono di origine marina e prevalentemente rappresentati da limi e argille (Pliocene-Plestocene inf.), mentre quelli sommitali di origine alluvionale e fluvioglaciale sono caratterizzati da un'alternanza di ghiaie, sabbie, limi e argille (Pleistocene medio-sup.-Olocene). Secondo le definizioni di M. Avanzini, G.P. Beretta, V. Francani e M. Nespoli, tale struttura idrogeologica è costituita dal sovrapporsi di 5 unità:

- Unità ghiaioso-sabbiosa (Olocene-Pleistocene sup.)
- Unità ghiaioso-sabbioso-limosa (Pleistocene med.)
- Unità a conglomerati e arenarie basali (Pleistocene inf.)
- Unità sabbioso-argillosa (Pleistocene inf.- Villafranchiano sup. e Medio Auct.)
- Unità argillosa (Pleistocene inf.-Calabriano Auct.)

Le prime tre unità sono contraddistinte dalla progressiva prevalenza di terreni limosi-argillosi, riscontrabili sia con l'aumento della profondità sia procedendo da nord verso sud: nel primo caso quale conseguenza della modificazione dell'ambiente di deposizione (regressione marina con instaurazione di un ambiente deltizio-lagunare e, successivamente, alternanze di fasi glaciali con ambienti alluvionali-fluvioglaciali), nel secondo caso a causa della diminuzione dell'energia di trasporto degli agenti deposizionali correlati alle conoidi fluvioglaciali pedemontane e ai corsi d'acqua ad esse associati (diminuzione della pendenza degli alvei procedendo da nord a sud).

Sempre in ambito dei depositi continentali, in media nei primi 100 m nelle aree di media-alta pianura, si sviluppano acquiferi a granulometria grossolana di ottima potenzialità, sede di falde freatiche con alimentazione diretta dalle acque meteoriche e per irrigazione (acquifero tradizionale formato dalle prime tre unità), mentre più in profondità si riscontrano ulteriori acquiferi sabbiosi con falde confinate intercalate da depositi limosi-argillosi alimentati dalle aree poste a nord e per scambi con gli acquiferi soprastanti, dove i livelli impermeabili risultano discontinui (acquiferi profondi dell'Unità sabbioso-argillosa).

Nelle aree di bassa pianura tale distinzione tende a scomparire, così come il riconoscimento dei vari depositi a diverso ambiente di sedimentazione sopra citati, ciò in ragione del citato affinamento della granulometria dei terreni e della prevalenza di livelli limoso-argillosi ai quali si alternano strati più grossolani di sabbie e sabbie ghiaiose già a partire dai primi metri di profondità. In questo contesto l'acquifero tradizionale risulta come un complesso di falde semi-confinate o confinate a costituire un sistema multifalde che viene assimilato a un monostrato acquifero. Il limite di separazione con gli acquiferi profondi, a causa della scarsità di dati derivanti dalle perforazioni di pozzi profondi, non è facilmente riconoscibile. Nell'area milanese il limite è stato identificato alla profondità di 100-110 m e quindi in considerazione di questo dato è presumibile dedurre che gli acquiferi profondi, nell'area d'interesse, possano essere a profondità maggiori di 110-120 m.

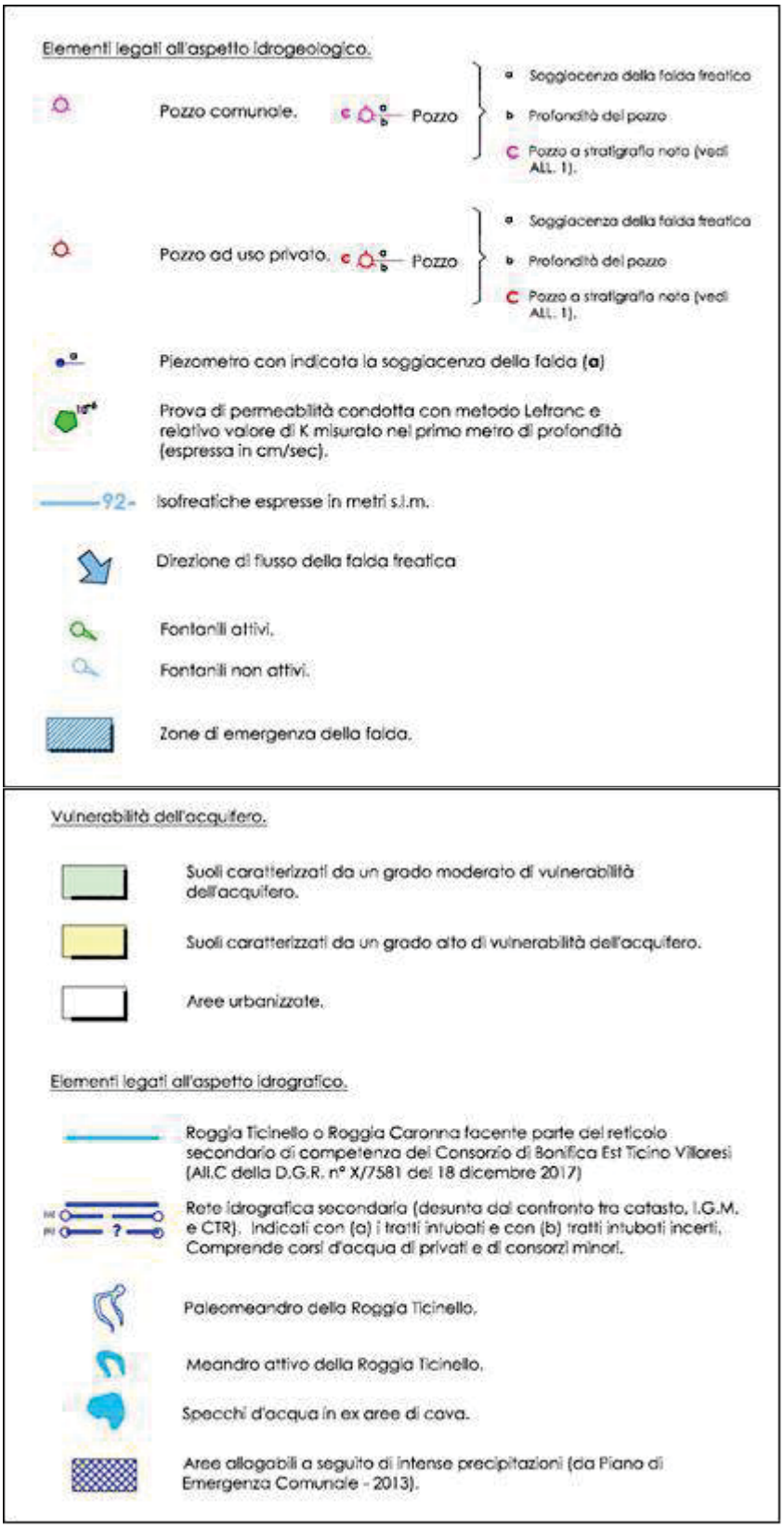
Più in dettaglio l'area d'intervento risulta caratterizzata da una struttura idrogeologica costituita da un acquifero superiore costituito da limi e sabbie fini, con subordinate lenti argillose ad andamento laterale discontinuo. L'acquifero profondo è costituito da sabbie e ghiaie molto fini, a carattere artesiano. L'andamento delle isofreatiche denota un flusso principale con direzione da nord-ovest verso sud-est. Il gradiente della falda è piuttosto omogeneo, per un valore medio di ca. 0,008. Il gradiente piezometrico non è costante, ma connesso principalmente alle caratteristiche litologiche,

alle diverse velocità di movimento (materiali fini per basse velocità, materiale grossolano per alta velocità), alla presenza di cavi, rogge e canali che possono disperdere le loro acque nel sottosuolo (es. aumenta in corrispondenza della Roggia Ticinello, che ha un effetto drenante), e infine, e non di minor importanza, alla tipologia di uso del suolo.

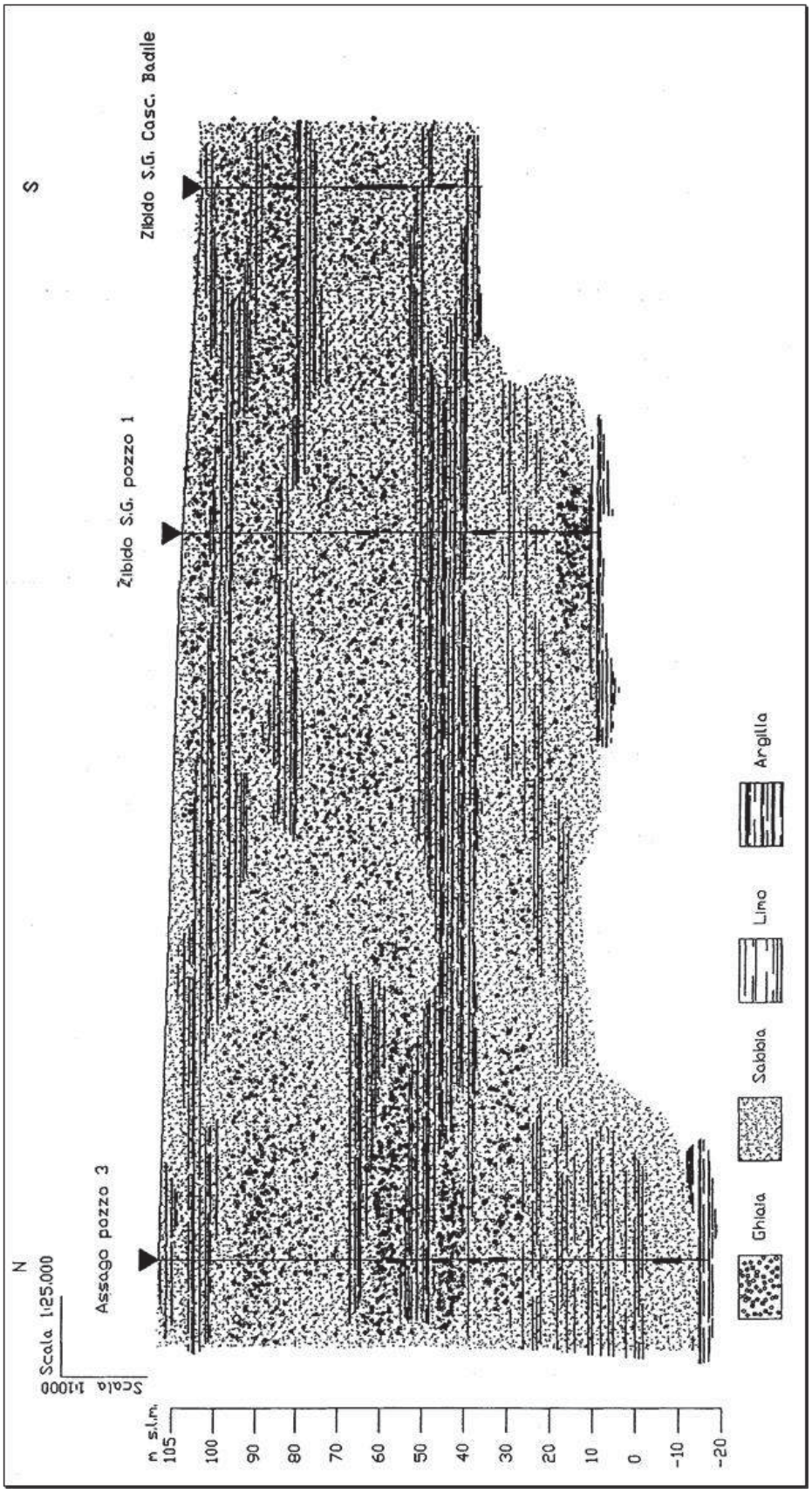
La falda è interessata da una sostanziale stabilità delle oscillazioni legate all'azione regolatrice svolta dai principali canali artificiali e naturali. Essendo il territorio comunale di Lacchiarella ubicato a sud della linea dei fontanili, le oscillazioni verso l'alto del livello della falda sono "controllate" dalla maggiore emissione di acqua da parte del sistema dei fontanili. Tale acqua viene poi smaltita dall'effetto "trincea drenante" svolta dai numerosi canali scolatori. In funzione dei dati idrogeologici storici acquisiti, è stata possibile definire l'oscillazione massima della falda nell'arco dell'anno di non oltre un metro, con un minimo del periodo marzo-aprile e un massimo nel periodo giugno-agosto.

Per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sono state utilizzate le stratigrafie dei pozzi per acqua anche dei Comuni di Zibido San Giacomo e Assago. Con tali elementi si è realizzata una sezione idrostratigrafica con andamento nord – sud sino al nucleo urbano di Badile. Dall'osservazione della sezione, riportata di seguito, si può notare come i litotipi prevalenti siano costituiti da ghiaie e sabbie, con una buona presenza di orizzonti argillosi che sembrano mostrare una certa continuità laterale a partire dai 50 metri di profondità; nei primi metri sono prevalenti le sabbie e le ghiaie con sporadici ciottoli alternati a livelli metrici di argille.

Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 3 - Carta Idrogeologica (settembre 2018).



Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: legenda Tavola 3 - Carta Idrogeologica (settembre 2018).



Sezione idrostratigrafica con andamento nord – sud.

2.5. Gli acquiferi captati

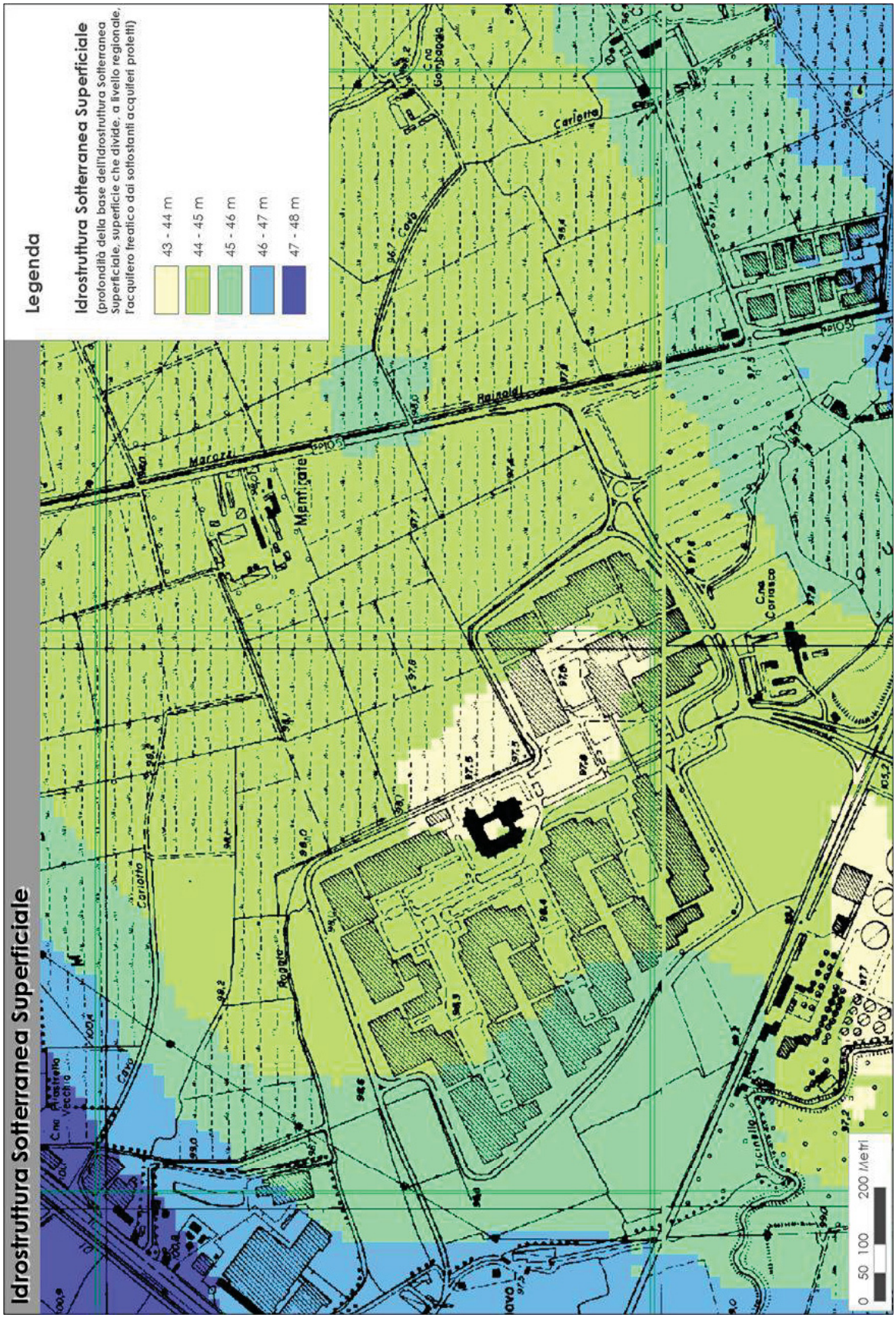
I caratteri idraulici dei terreni nel sottosuolo determinano il ruolo che i diversi corpi sepolti giocano all'interno dei meccanismi di circolazione sotterranea, di alimentazione delle falde idriche in senso verticale ed orizzontale, di possibilità di contaminazione delle stesse da parte di prodotti derivanti dai diversi tipi di attività antropica. Per valutare le caratteristiche idrauliche si fa generalmente riferimento ai parametri permeabilità, conducibilità idraulica, trasmissività e porosità. Questi parametri possono essere ricavati da misure dirette in sito, da misure dirette in laboratorio, o indirettamente da indagini di tipo geofisico, da prove effettuate nel corso di sondaggi geognostici, da informazioni di tipo litologico.

Alcune, ma diversificate, prove di altro tipo sono disponibili, ma proprio l'eccessiva differenziazione dei metodi di valutazione impedisce l'applicazione di metodi statistici di correlazione tra gli stessi. In tal modo, una prima indicazione sulle caratteristiche idrauliche del sottosuolo é stata ricavata elaborando in due modi i dati a disposizione di tipo litologico e quelli idraulici relativi alle prove di collaudo effettuate sui pozzi all'epoca della costruzione.

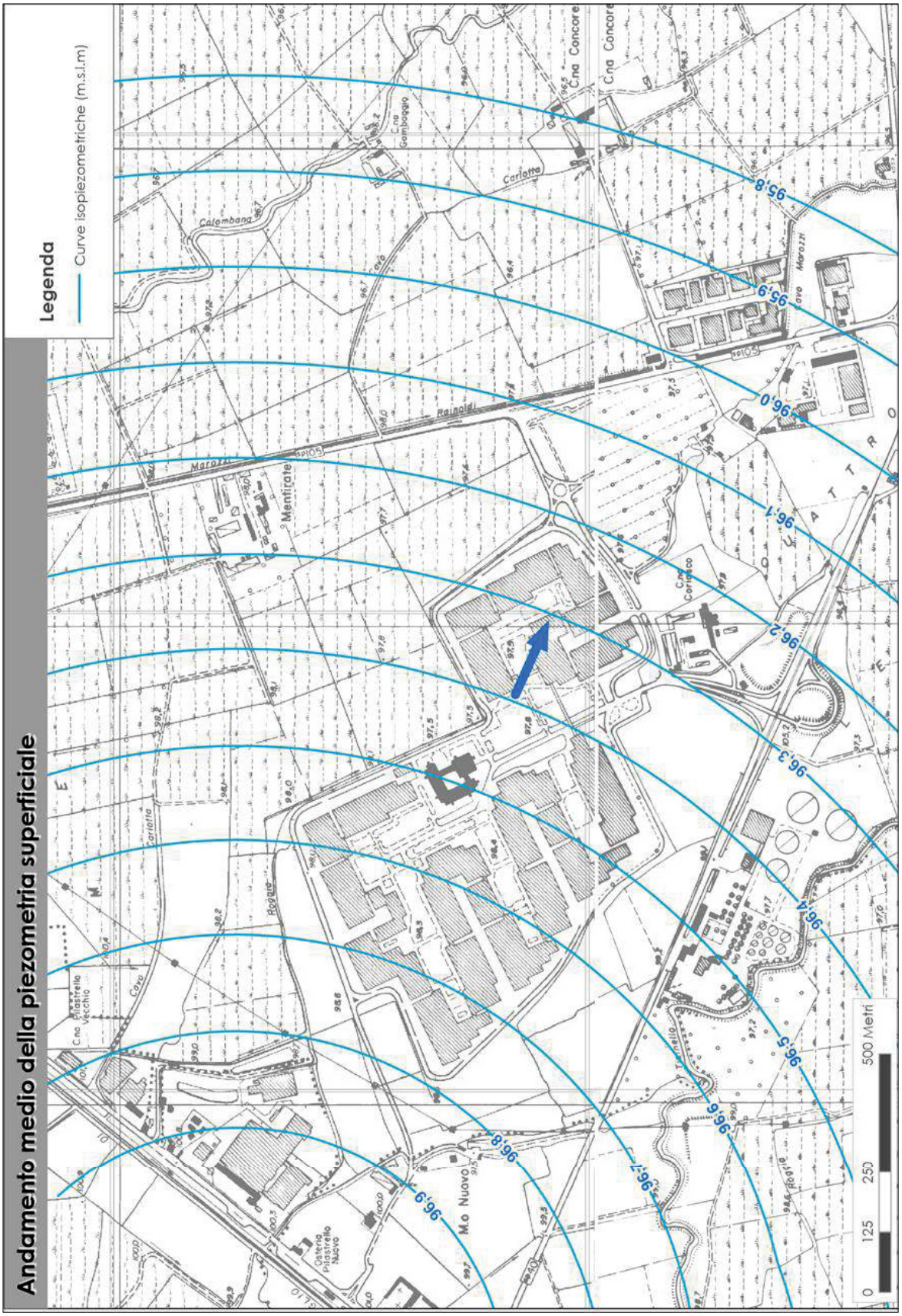
Si è ottenuta dapprima la distribuzione della percentuale di argilla contenuta nell'orizzonte del sottosuolo posto al di sopra dei filtri dei pozzi per acqua della zona (in questo caso, circa 40 metri): questa caratteristica può essere ragionevolmente utilizzata per valutare il grado di protezione delle risorse nei confronti di inquinanti provenienti dalla superficie. Si é quindi calcolata la portata specifica dei pozzi, che dimensionalmente corrisponde al rapporto tra portata emunta durante il collaudo e il corrispondente abbassamento del livello statico in tal modo causato. Da questa grandezza è possibile calcolare valori di trasmissività e quindi di permeabilità, ma in mancanza di valori misurati sperimentalmente con metodi diretti le informazioni in tal modo ricavabili hanno valore relativo, nel senso che descrivono la variabilità dei parametri, ma non in modo affidabile i loro valori assoluti.

La distribuzione della percentuale di argilla nei primi 40 metri di profondità è pressoché omogenea: il valore della percentuale di argilla ha un massimo nella zona nord orientale del comune (circa il 40%) e gradatamente diminuisce verso sud ovest dove raggiunge valori tra il 10 e 20%.

La distribuzione della portata specifica, come riportata nello "*Studio idrogeologico della pianura compresa tra Adda e Ticino*", è abbastanza omogenea: i valori calcolati per i pozzi della zona ricadono nell'intervallo 10-30 l/s*m. Tali valori, che vanno considerati medio-bassi, possono rendere comunque conto della velocità del flusso sotterraneo e in tal modo essere considerati proporzionali sia alla potenzialità dell'acquifero, sia, in senso negativo, all'attitudine dell'acquifero a trasmettere contaminazioni. Tali valori, dato che le tratte filtranti sono posizionate all'interno della prima litozona, vanno considerati relativi all'acquifero principale.



Idrostruttura sotterranea superficiale.



Andamento medio della piezometria superficiale.

3.1. Indagini pregresse

Nell'ambito del presente studio, oltre ai dati geologici e idrogeologici utilizzati per l'inquadramento dell'area fornito nel capitolo 2 precedente, si è proceduto a un'integrazione dell'esistente mediante raccolta e analisi di indagini pregresse estendibili al sito d'interesse. In particolare, l'area in esame è stata oggetto di precedenti indagini geologico-tecniche, consistenti in n. 9 prove penetrometriche dinamiche SCPT (v. diagrammi in ***Appendice 1***).

La possibilità di ricostruzione delle litologie presenti nel sottosuolo si è affidata anche alla disponibilità delle stratigrafie della zona, di cui si riportano nel seguito le più prossime all'area di intervento, relative ai due pozzi della frazione Badile (B6B587380487 e B6B587900590), al pozzo per acqua di C.na Coriasco (P5) e al sondaggio geognostico denominato S4.

COMUNE: BINASCO IDE: B6B587380487

QUOTA (m s.l.m.): 100 PROFONDITA'(m): 36 NUMERO STRATI: 5

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	5	5	Argilla sabbiosa	A S
2	5	17	12	Sabbia	S
3	17	20	3	Argilla sabbioso-siltosa	A S L
4	20	30	10	Ghiaietto	GG
5	30	36	6	Ghiaia	G

COMUNE: BINASCO IDE: B6B587900590

QUOTA (m s.l.m.): 99,7 PROFONDITA'(m): 46 NUMERO STRATI: 6

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	3	3	Terreno di riporto	ZR
2	3	9	6	Argilla grigia	A
3	9	21	12	Sabbia media con ghiaietto	S3 GG
4	21	32	11	Argilla grigia	A
5	32	45	13	Sabbia medio fine	S3 S4
6	45	46	1	Argilla	A

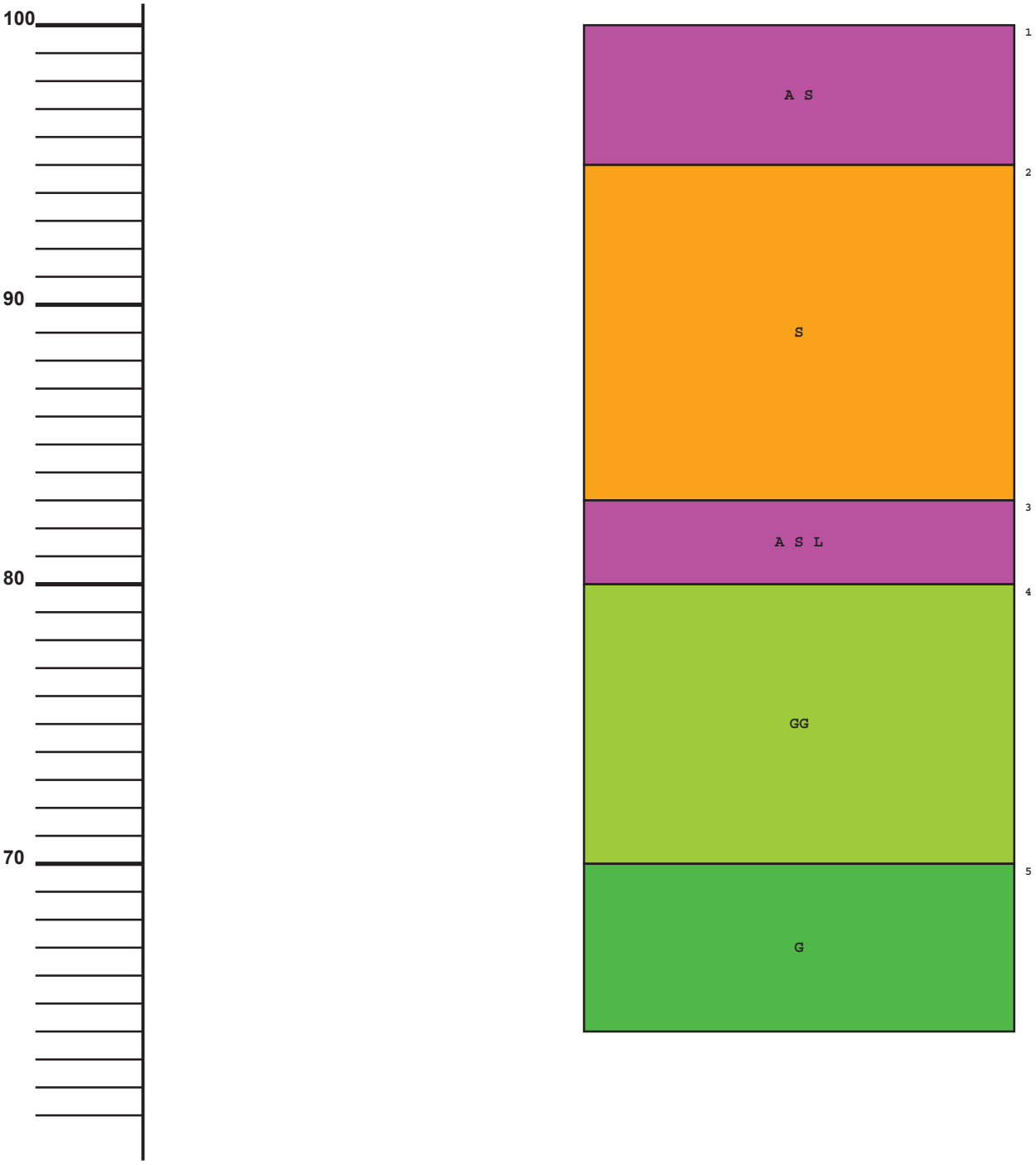
RegioneLombardia

BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO

INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: BINASCO IDE: B6B587380487

QUOTA (m s.l.m.): 100 PROFONDITA'(m): 36 NUMERO STRATI: 5



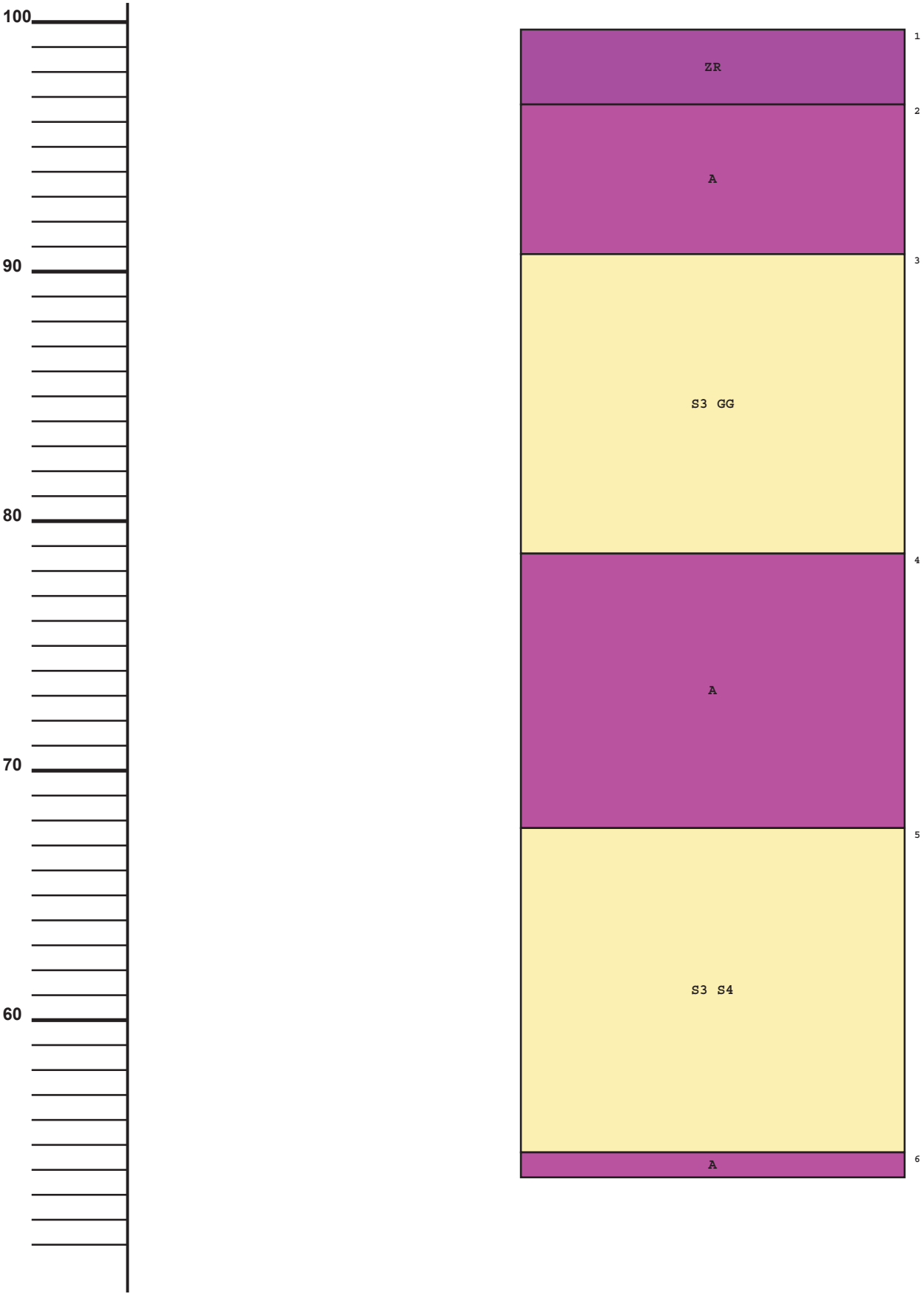
RegioneLombardia

BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO

INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: BINASCO IDE: B6B587900590

QUOTA (m s.l.m.): 99,7 PROFONDITA'(m): 46 NUMERO STRATI: 6

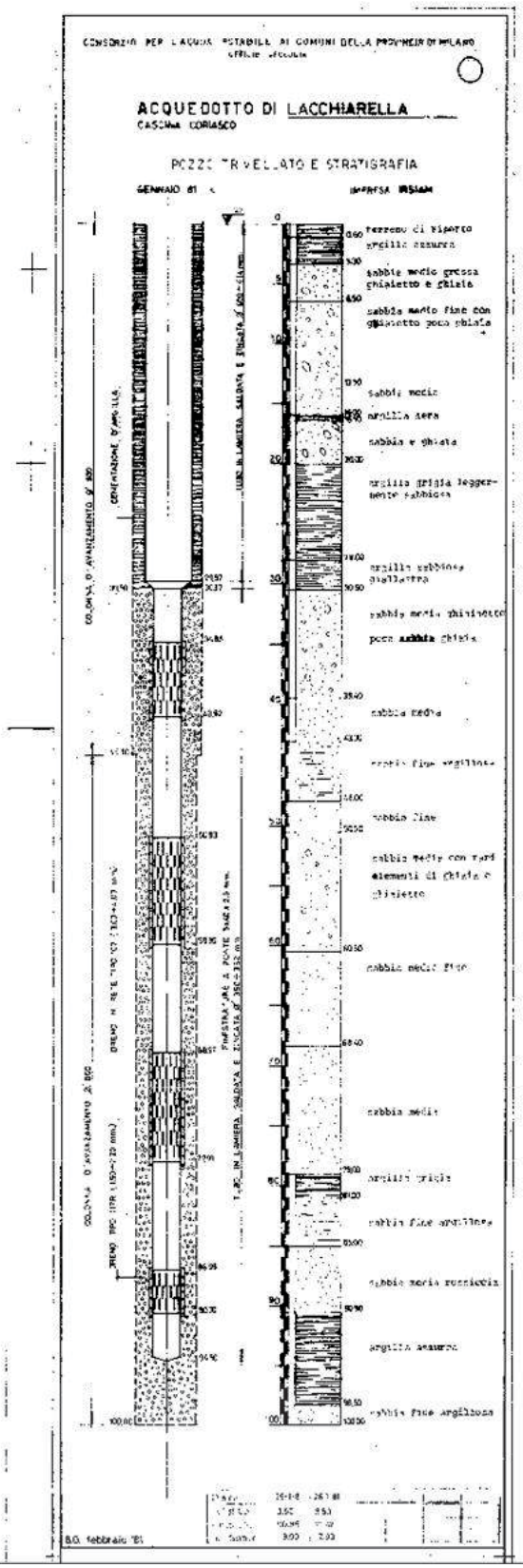


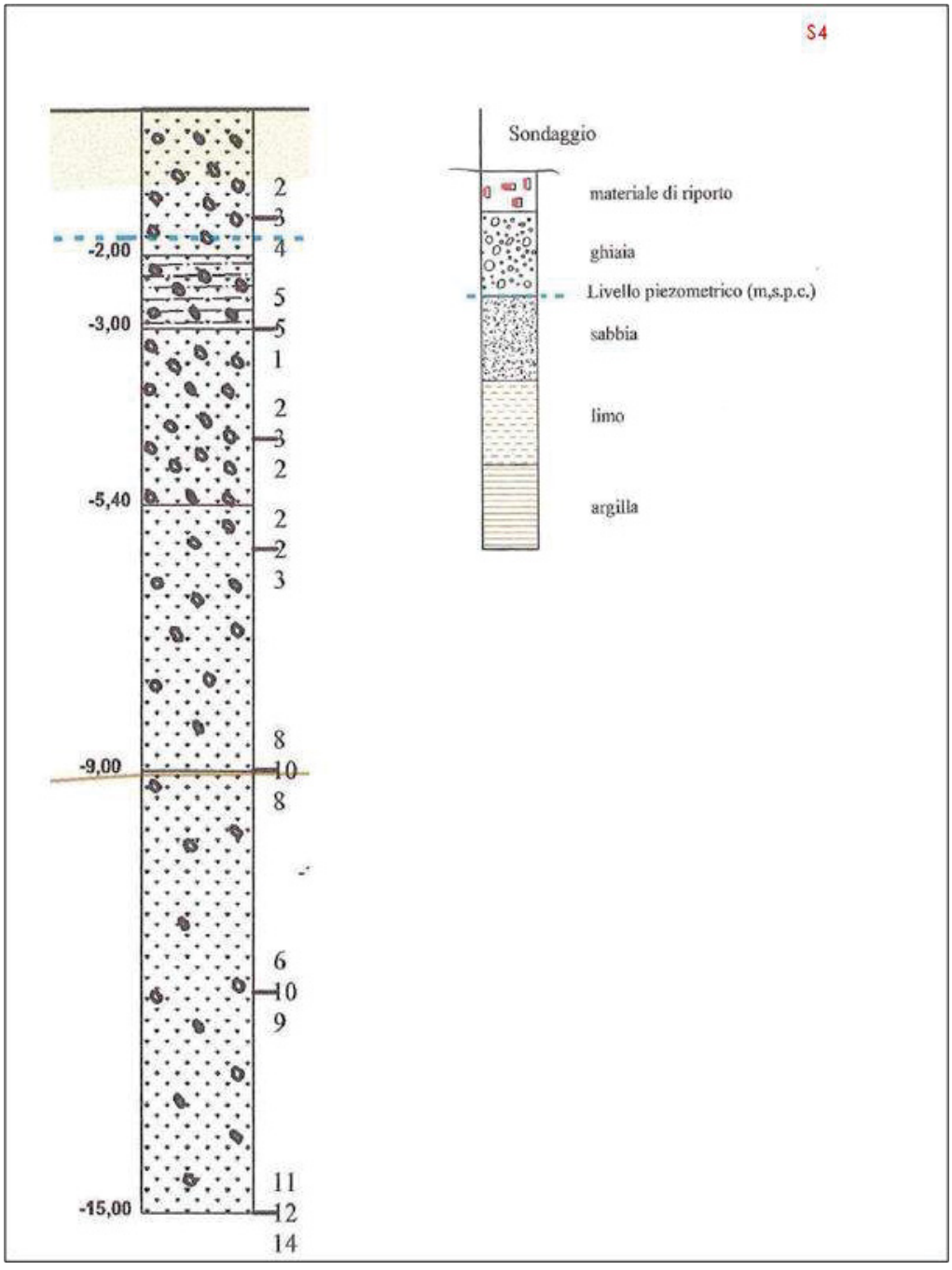
RegioneLombardia

Legenda Stratigrafia Indagine

- Ghiaia - G
- Blocchi, trovanti, erratici - GB
- Sassi, meteriale lapideo - GP
- Massi - GM
- Materiale grossolano s.l. - GZ
- Ghiaietto - GG
- Ciottoli - GC
- Ghiaia molto grossolana - G1
- Ghiaia grossolana - G2
- Ghiaia media - G3
- Ghiaia fine - G4
- Ghiaia finissima - G5
- Sabbia - S
- Materiale sabbioso s.l. (tufo, sabbione,sabbiella, ecc.) - SZ
- Sabbia molto grossolana, sabbia granosa - S1
- Sabbia grossolana - S2
- Sabbia media - S3
- Sabbia fine - S4
- Sabbia finissima - S5
- Argilla - A
- Limo - L
- Materiale fangoso - M
- Terra - MT
- Materiale fine s.l. - MZ
- Terreni di origine organica - T
- Carbone - PC
- Lignite - PL
- Materiale organico - PO
- Torba - PT
- Materiale roccioso del substrato (escluso rocce clastiche) - B
- Roccia generica - BZ
- Calcare - BC
- Gesso, anidrite - BG
- Marna - BM
- Altro - Z
- Discarica di rifiuti - ZD
- Mattoni, laterizi - ZM
- Terreno di riporto, massicciata stradale, materiale di riporto - ZR
- Suolo, terreno vegetale - ZS
- Informazione non disponibile (recupero non effettuato, informazione intraducibile) - ZZ

P5


ACQUEDOTTO DI LACCHIARELLA
CASCINA CORIASCO
POZZO TRIVELLATO E STRATIGRAFIA
terreno di riporto
argilla azzurra
sabbia media grossa ghiaietto e ghiaia
sabbia medio fine con ghiaietto poca ghiaia
sabbia media
argilla nera
sabbia e ghiaia
argilla grigia leggermente sabbiosa
argilla sabbiosa ghiaiosa
sabbia media ghiaietto
poca sabbia ghiaia
sabbia media
sabbia fine argillosa
sabbia fine
sabbia media con vari elementi di ghiaia e ghiaietto
sabbia media fine
sabbia media
argilla grigia
sabbia fine argillosa
sabbia media rossiccia
argilla azzurra
sabbia fine argillosa

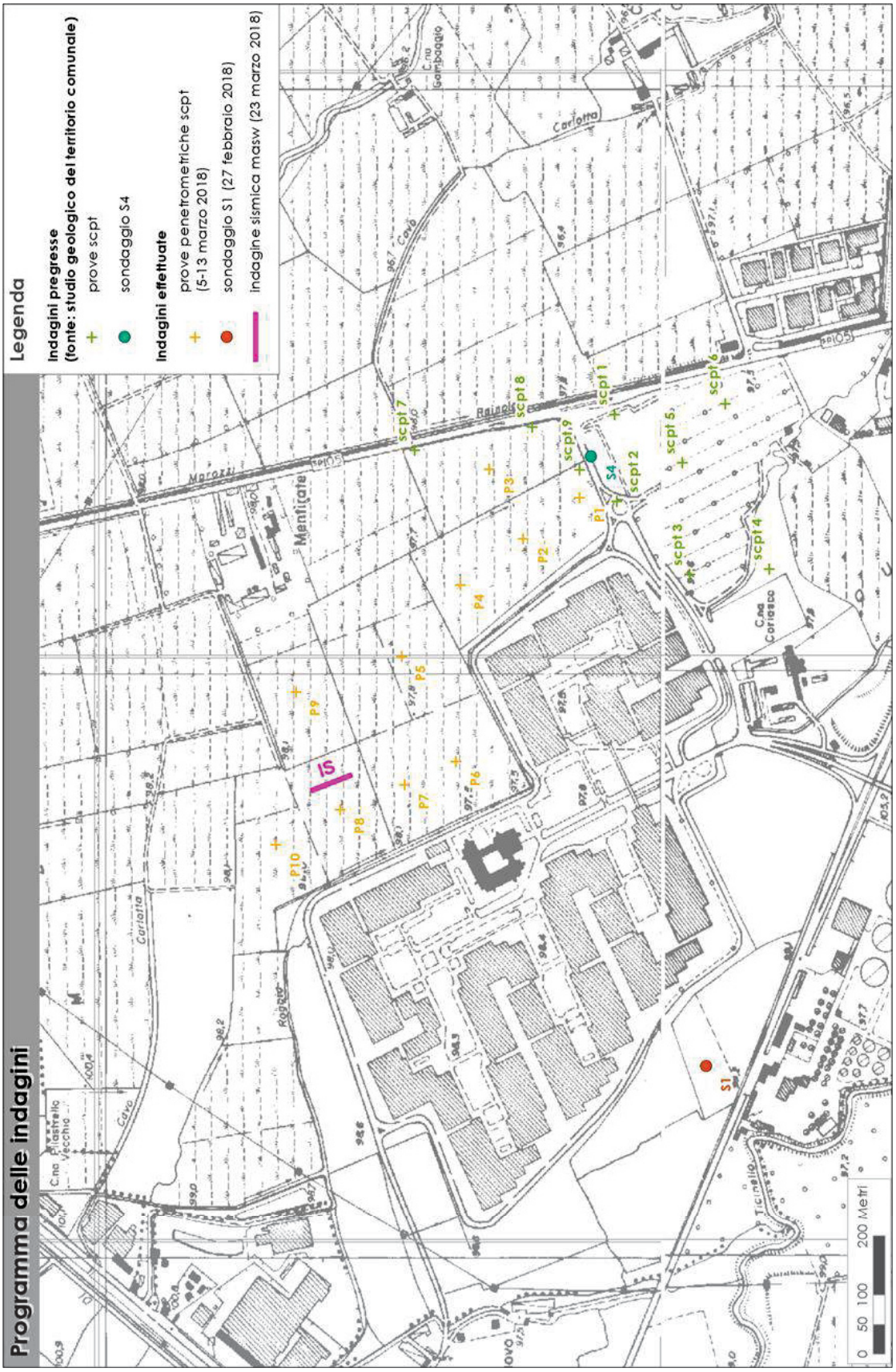

S4
-2,00
-3,00
-5,40
-9,00
-15,00
2
3
4
5
5
1
2
3
2
2
2
3
8
10
8
6
10
9
11
12
14
Sondaggio
materiale di riporto
ghiaia
Livello piezometrico (m,s.p.c.)
sabbia
limo
argilla

3.2. Indagini svolte

La campagna di indagini geognostiche ha compreso:

- l'esecuzione di n. 10 prove penetrometriche dinamiche SCPT spinte sino alla profondità massima di 20 m dal p.c.;
- l'allestimento di n. 7 tubazioni provvisorie in PVC al fine di verificare a livello locale il dato di soggiacenza della falda;
- l'esecuzione, all'interno di un tubo piezometrico provvisorio, di n. 1 prova idraulica di infiltrazione eseguite nell'intervallo 0.0 – 1.0 m dal p.c., ai fini della valutazione della classe di permeabilità dei terreni;
- l'esecuzione di n. 1 prova sismica di superficie di tipo attivo (MASW);
- l'esecuzione di n. 1 indagine sismica a rifrazione;
- la perforazione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di 15 m dal p.c.;
- l'effettuazione di prove di resistenza meccanica SPT a fondo foro ogni 3 m di avanzamento;
- in considerazione della stratigrafia rilevata, il prelievo di n. 3 campioni rappresentativi degli orizzonti della matrice sottosuolo con relative analisi di laboratorio per la classificazione delle terre (granulometrie ASTM).

Alla pagina seguente si riporta la planimetria con i punti di ubicazione delle indagini e ai paragrafi successivi l'analisi di dettaglio delle stesse.



Programma delle indagini.

3.2.1. Prove penetrometriche dinamiche SCPT

Nel mese di marzo 2018 sono state effettuate, in accordo con i progettisti e la committenza, n. 10 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT (*Standard Cone Penetration Testing*) denominate P1-P10. Le prove si sono spinte sino alla profondità massima di 20 m dal p.c.

L'attrezzatura utilizzata è un penetrometro semovente superpesante TG63-100 da 10 ton che rispetta gli standard AGI, della Pagani Geotechnical Equipment (PC), modello statico-dinamico, con massa battente a sganciamento automatico e avente le seguenti caratteristiche:

- diametro punta conica: 51 mm
- lunghezza delle aste: 1 m
- angolo di apertura: 60^0
- peso del maglio: 73 kg
- altezza di caduta: 0.75 m
- massa passiva: 0.7 kg
- penetrazione standard: 20 cm (N_{20})

La prova penetrometrica dinamica consiste normalmente nell'infissione, mediante caduta di un maglio, di una batteria di aste con alla base una punta conica e nella contemporanea registrazione del numero di colpi necessario per avanzamenti successivi di 20 cm. Nel caso in esame, considerato il fatto che l'attrito laterale esercitato sulle aste non influenzava i valori di resistenza alla penetrazione, non è stata usata la tubazione di rivestimento.

L'analisi dei risultati delle prove penetrometriche svolte ha consentito di poter parametrizzare il sottosuolo in termini di proprietà indice, caratteristiche di consistenza e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali. In particolare, dai valori medi di N_{20} si sono ricavati i corrispondenti valori di N_{SPT} attraverso le medie scaturite dalle correlazioni empirico-sperimentali maggiormente riconosciute in ambito tecnico-scientifico internazionale. Successivamente da detto valore di N_{SPT}, nonché da esperienze simili in terreni del tutto analoghi ed estrapolando opportunamente i risultati, si sono ricavati i valori dei parametri di resistenza degli strati di terreno interessati dalle indagini.

I dati registrati nelle prove penetrometriche SCPT sono riportati nelle tabelle alle pagine successive, che illustrano la resistenza opposta dal terreno alla penetrazione continua della punta; i grafici delle indagini eseguite sono riportati in ***Appendice 2***, la documentazione fotografica delle prove in ***Appendice 3***. I grafici illustrano con linea a tratto marcato la resistenza opposta dal terreno alla penetrazione continua della punta, ovvero il numero di colpi N necessari per un affondamento della punta di 20 cm.

Prof. (m)	Prova n° 1 N (colpi)	Prova n° 2 N (colpi)	Prova n° 3 N (colpi)	Prova n° 4 N (colpi)	Prova n° 5 N (colpi)	Prova n° 6 N (colpi)	Prova n° 7 N (colpi)	Prova n° 8 N (colpi)	Prova n° 9 N (colpi)	Prova n° 10 N (colpi)
0,20	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2
0,40	1	2	1	1	1	2	5	1	1	2
0,60	1	2	2	1	1	3	5	1	1	1
0,80	2	2	2	2	1	5	3	2	1	1
1,00	1	2	3	2	1	3	3	3	2	1
1,20	1	1	3	1	1	3	3	3	1	1
1,40	1	1	2	1	1	2	3	4	1	3
1,60	1	1	3	1	3	2	1	5	1	4
1,80	1	2	3	1	3	2	1	3	1	4
2,00	3	2	3	2	3	2	1	2	2	4
2,20	2	2	1	2	4	1	1	1	2	2
2,40	1	4	1	3	4	1	1	1	1	1
2,60	1	8	1	3	2	2	2	1	1	1
2,80	1	11	1	6	2	1	3	1	1	1
3,00	2	12	1	2	2	2	5	1	4	1
3,20	2	11	3	2	3	1	6	1	6	2
3,40	3	6	3	2	2	3	5	1	6	2
3,60	2	2	4	1	4	5	5	1	7	2
3,80	4	2	3	1	7	5	7	1	8	2
4,00	6	2	4	2	7	6	6	2	5	3
4,20	2	3	1	7	7	8	7	5	6	3
4,40	1	4	1	8	7	6	8	8	7	4
4,60	2	5	1	8	7	6	10	9	9	6
4,80	3	5	2	7	7	6	7	8	10	7
5,00	5	7	5	8	7	5	8	9	6	7
5,20	5	7	11	10	8	7	9	10	5	6
5,40	7	7	10	11	6	6	10	10	5	5
5,60	7	6	10	11	6	7	9	10	7	7
5,80	6	6	11	11	6	7	9	11	10	6
6,00	7	6	9	10	5	7	10	9	8	7
6,20	8	9	9	7	5	6	11	6	10	4
6,40	8	9	9	6	5	7	5	7	10	4
6,60	5	7	8	8	1	6	5	6	12	5
6,80	6	7	5	10	1	5	5	3	7	10
7,00	5	7	6	7	7	6	6	5	8	11
7,20	5	5	7	7	8	6	6	9	10	12
7,40	5	6	8	5	6	5	5	8	12	7
7,60	4	6	11	8	8	3	7	6	11	8
7,80	5	5	12	11	14	3	7	7	8	7
8,00	5	4	7	9	13	8	9	8	8	7
8,20	6	6	8	7	12	7	6	11	8	6
8,40	7	7	9	9	10	9	9	13	10	8
8,60	5	10	8	10	10	8	12	16	11	8
8,80	5	8	7	13	11	10	15	13	9	8
9,00	9	4	6	5	14	6	16	12	8	6
9,20	13	4	6	4	15	7	15	14	8	11
9,40	8	4	2	4	11	12	11	17	11	7
9,60	5	4	1	5	6	13	13	14	8	6
9,80	5	7	10	6	4	13	8	14	9	6
10,00	7	7	8	9	3	12	7	9	9	9

Prof. (m)	Prova n° 1 N (colpi)	Prova n° 2 N (colpi)	Prova n° 3 N (colpi)	Prova n° 4 N (colpi)	Prova n° 5 N (colpi)	Prova n° 6 N (colpi)	Prova n° 7 N (colpi)	Prova n° 8 N (colpi)	Prova n° 9 N (colpi)	Prova n° 10 N (colpi)
10,00	7	7	8	9	3	12	7	9	9	9
10,20	10	10	7	13	4	10	10	7	9	11
10,40	11	11	10	11	8	9	8	7	9	6
10,60	1	11	11	10	13	7	11	7	7	7
10,80	14	11	11	11	12	9	11	9	9	8
11,00	8	12	8	10	8	9	12	9	13	10
11,20	4	13	9	14	8	11	11	9	13	11
11,40	3	12	9	13	11	11	9	8	15	10
11,60	4	10	9	11	11	11	10	7	17	11
11,80	5	9	9	10	7	7	8	7	18	8
12,00	5	9	11	12	10	9	7	8	15	8
12,20	8	8	7	13	12	13	7	8	16	12
12,40	7	9	5	13	10	13	9	6	16	12
12,60	4	9	5	12	11	12	11	6	18	18
12,80	5	12	5	15	10	11	12	7	11	13
13,00	5	13	7	17	12	9	7	7	9	12
13,20	3	15	7	14	9	9	9	8	8	11
13,40	2	12	7	11	9	10	11	9	9	9
13,60	2	10	7	7	11	10	13	11	12	10
13,80	1	11	7	8	16	10	16	11	13	9
14,00	1	11	8	8	17	10	13	9	9	9
14,20	3	12	10	8		7	12	9	8	10
14,40	3	11	10	10		7	12	10	9	10
14,60	4	14	9	11		10	13	10	9	11
14,80	4	16	10	13		10	14	10	5	7
15,00	3	10	10	17		7	8	12	5	8
15,20		9	9	20			6	10	6	6
15,40		2	9	18			8	8	7	6
15,60		2	11	17			12	10	7	8
15,80		5	9	18			12	10	8	9
16,00		6	8	15			13	10	9	8
16,20			10	19			22		9	7
16,40			11	20			24		12	10
16,60			15	21			22		12	10
16,80			26	20			22		14	11
17,00			26	22			17		12	13
17,20			23	16			14		13	19
17,40			20	14			17		12	35
17,60			14	16			13		17	26
17,80			12	18			17		21	20
18,00			10	20			18		21	13
18,20			9	33			13		22	15
18,40			15	20			18		20	15
18,60			20	18			26		20	27
18,80			15	20			27		20	26
19,00			14	20			30		25	23
19,20			12				29			22
19,40			12				28			20
19,60			15				30			23
19,80			13				28			24
20,00			12				29			24

3.2.2. Verifica delle condizioni piezometriche

La profondità della falda è da considerarsi di notevole importanza ai fini di:

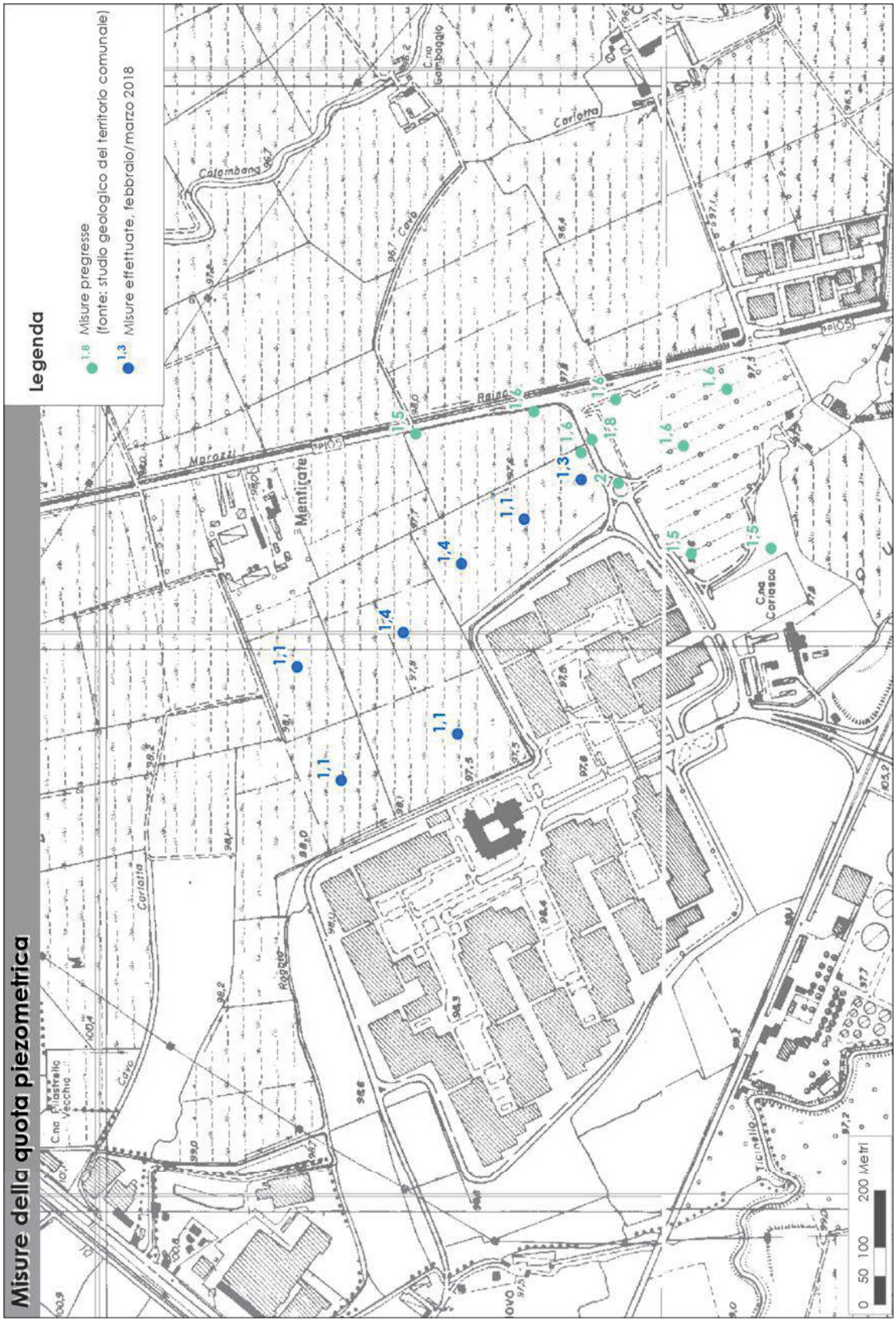
- scelte progettuali relative a tipologia e dimensionamento delle opere di fondazione;
- valutazioni della vulnerabilità dell'acquifero, in quanto rappresenta lo spessore dello strato insaturo: minore è questo spessore, come nel caso dell'area in studio, minore risulta il tempo necessario perché un inquinante proveniente dalla superficie raggiunga la falda e, quindi, minore è il tempo disponibile perché si svolga l'azione dei processi autodepurativi del terreno.

In relazione alle caratteristiche delle falde, fatto salvo quanto già indicato nel precedente capitolo 2, si è ritenuto necessario procedere ad una verifica di maggior dettaglio delle condizioni piezometriche dell'area, ossia della presenza o meno di acqua di falda nel primo sottosuolo; si è proceduto pertanto alla messa in opera, nei fori ottenuti dalle prove penetrometriche, di tubazioni provvisorie in PVC microfessurate e del diametro di 1.5" per la verifica della presenza della falda.

La misura della quota piezometrica è avvenuta utilizzando un sondino con cavo avvolgibile metrato di precisione centimetrica a segnalazione acustica, circa mezz'ora dopo l'installazione del piezometro e al termine dell'esecuzione della prova penetrometrica, permettendo in tal modo la stabilizzazione del livello dell'acqua all'interno del tubo.

Dall'analisi di quanto sopra, è stata rinvenuta acqua a profondità comprese tra -1,1 e -1,4 metri dal p.c. attuale.

La profondità della falda, come è noto, non è costante nel tempo ma soggetta ad oscillazioni di breve, medio e lungo periodo (giornaliere, stagionali o intra-annuali, annuali o inter-annuali). A scala annuale, si evidenziano cicliche oscillazioni stagionali legate alla pratica irrigua, che presentano generalmente massimi piezometrici tardo estivi o autunnali (agosto/settembre) e minimi primaverili (aprile/maggio), con escursioni variabili in funzione dell'andamento climatico della stagione irrigua. A stagioni piovose corrispondono escursioni più limitate, determinate dal minor ricorso all'irrigazione per le necessità colturali; viceversa, irrigazioni più frequenti nelle stagioni maggiormente siccitose provocano maggiori escursioni piezometriche.



Misure della quota piezometrica.

3.2.3. Prova di infiltrazione

I caratteri idraulici dei terreni rivestono particolare significato poiché determinano e condizionano i meccanismi della circolazione idrica sotterranea e di alimentazione delle falde idriche in senso verticale ed orizzontale. Per valutare le caratteristiche idrauliche si fa generalmente riferimento al parametro permeabilità, che può essere ricavato da misure dirette in sito attraverso prove di infiltrazione. Al fine di determinare il coefficiente di permeabilità K dei terreni costituenti il primo sottosuolo dell'area di interesse, si è proceduto all'esecuzione di una prova di permeabilità realizzata all'interno del foro ottenuto dalla prova penetrometrica P9. In relazione alla profondità della falda freatica, e tenuto conto che la prova eseguita ha carattere puntuale, si è scelta una profondità di prova, nel foro, significativa ai fini della determinazione della conducibilità idraulica a supporto delle verifiche di idoneità dell'area, e che comunque garantisse l'assenza di falda.

In particolare, si è installato n. 1 tubo piezometrico provvisorio, fenestrato, spinto fino a profondità massima di -1,00 m; si è quindi eseguita una prova idraulica di infiltrazione a carico variabile, per una stima del coefficiente di conducibilità idraulica.

La prova in foro è stata eseguita al di sopra del livello della falda, mediante la seguente metodologia:
- infissione di tubo piezometrico di diametro 1,5" cieco nella parte sommitale e filtrante in quella inferiore, fino a profondità massima di 1,00 m;
- riempimento del tubo piezometrico con un volume prefissato d'acqua fino all'estremità della testa tubo (altezza nota);
- misura del tempo di discesa del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) dall'inizio dell'abbassamento e fino all'esaurimento del medesimo.

L'interpretazione della prova ha permesso di stimare la permeabilità del tratto di terreno corrispondente al primo intervallo di sottosuolo, mediante correlazioni tra conducibilità idraulica e velocità di recupero del dislivello. La formula usata per il calcolo della permeabilità nelle prove a carico variabile al di sopra della falda tiene conto del coefficiente di forma della tasca filtrante, rapportando l'area filtrante al carico idraulico. Nell'interpretazione dei dati risultanti dalle prove, il coefficiente di conducibilità idraulica è stato stimato per mezzo della seguente formula empirica:

$$K = A \cdot dH / C \cdot dt \cdot Hm$$

con:
- A = area di base del foro = 10,17 cm^2
- $dH = H_1 - H_2$ = variazione di carico idraulico [cm]
- C = coefficiente di forma dipendente dal diametro del foro = 2,85 · D = 10,86 cm
- $dt = t_2 - t_1$ = intervallo di tempo corrispondente a dH [sec]
- Hm = carico idraulico corrispondente al tempo medio $(t_1 + t_2) / 2$ [cm]

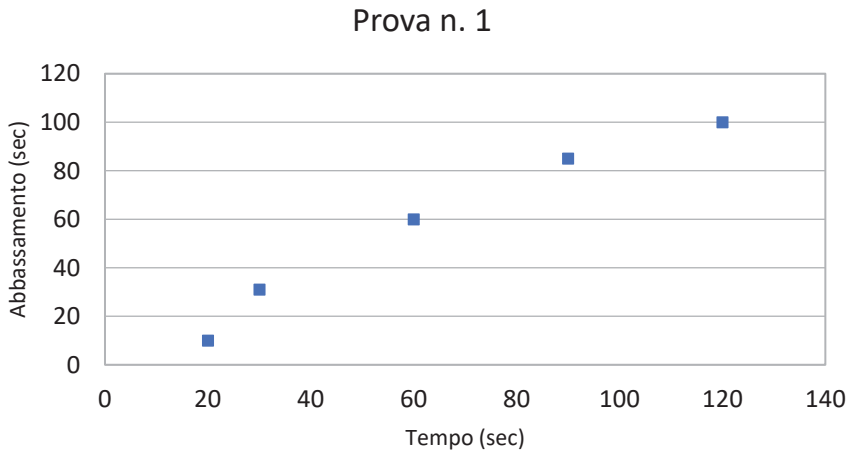
Nel grafico alla pagina seguente è stato diagrammato il tempo rispetto agli abbassamenti; i punti sono posizionati secondo una curva rappresentativa che mostra come l'abbassamento varia con la durata della prova stessa. I dati ricavati dall'inclinazione delle curve tempo-abbassamento esprimono la variazione in abbassamento.

Coefficiente di permeabilità K (cm / sec)	
Ciottoli, ghiaie, sabbie grossolane e medie	da 10 a 10^{-3}
Sabbie fini	da 10^{-3} a 10^{-4}
Limi	da 10^{-4} a 10^{-6}
Argille	da 10^{-6} a 10^{-9}
Argille plastiche	da 10^{-9} a 10^{-10}

Valori indicativi di permeabilità di terreni tipici.

PROVA N. 1 – POSTAZIONE P9

Tempo (sec)	*Abbassamento livello H20 (cm)*	*Differenza (cm)*
20”	10	-
30”	31	21
60”	60	29
90”	85	25
120”	100	15



Dalle interpretazioni dei dati rilevati durante la prova è stato ricavato un coefficiente di permeabilità del terreno $K = 1{,}3 \cdot 10^{-2}$ *cm/sec*. Pur tenendo conto delle condizioni insature dei terreni indagati e delle approssimazioni derivanti dal metodo di interpretazione adottato, tale valore sembra confermato dall’osservazione dei terreni campionati nel corso del sondaggio S1 e dall'analisi delle granulometrie ASTM, terreni che risultano dal punto di vista litologico corrispondenti a sabbie.

3.2.4. Prova MASW Vs 30 a 12 geofoni

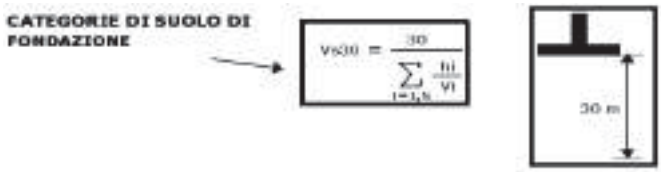
Per la ricostruzione del modello geofisico del sottosuolo è stata eseguita, in data 23 marzo 2018, un'indagine sismica superficiale con il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh), con tecnica MASW. L'indagine sismica è stata atta a determinare la velocità delle onde di taglio Vs e sulla base di questi dati la categoria di sottosuolo e le azioni sismiche con cui progettare e verificare le opere di Ingegneria Civile. Lo scopo della prova è quello di valutare la risposta sismica dei suoli oggetto di studio, ai fini di una corretta microzonazione locale.

Il metodo MASW (*Multi-Channel Analysis of Surface Waves* - Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva), è una tecnica di indagine sviluppata in parte per superare le difficoltà dell'applicazione del metodo SASW in ambienti rumorosi, e che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs sulla base della misura delle onde superficiali, eseguita in corrispondenza di sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione.

I principali riferimenti di carattere scientifico e metodologico sono i seguenti:

- Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, *Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probabilità Density Evaluation*, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55;
- Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, *Multichannel analysis of surface waves*, Geophysics, 64, 3; 800-808.

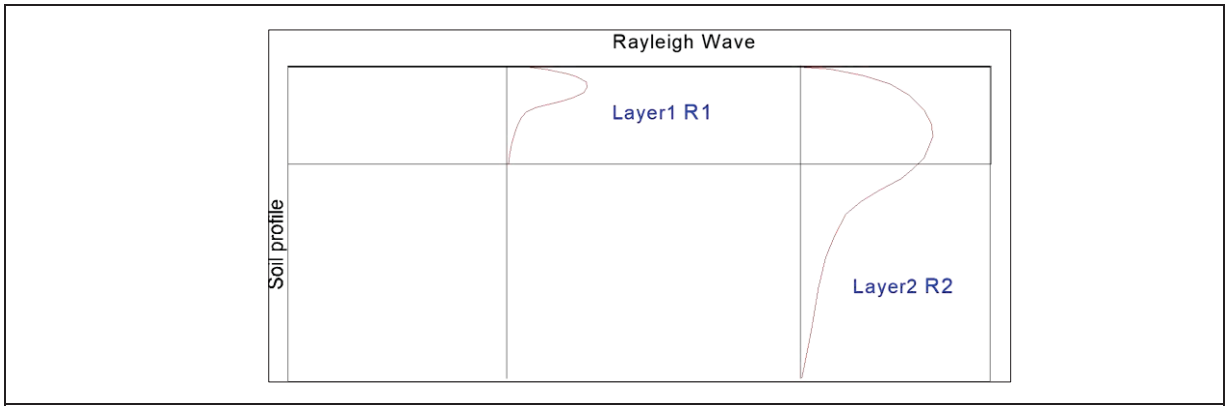
La classificazione dei terreni si basa sul valore medio della velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità (Vs30), come definita dalla relazione:



ove hi e Vi sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato.

Tale metodologia trova il miglior campo di applicazione per profondità di studio inferiori ai 30-40 m dal p.c. E' necessario che il volume di terreno sia caratterizzato da valori di velocità Vs progressivamente crescenti con la profondità, infatti il principale limite di tale metodologia è rappresentato dal non poter distinguere ed individuare strati con velocità delle onde SH minori sottostanti a strati con velocità più elevate.

La porzione che predomina nelle onde superficiali, come detto, è costituita dalle onde di Rayleigh, la cui velocità è correlata alla rigidezza e ai parametri elastici dei suoli attraversati; è importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: ciò significa che le onde con alte frequenze, e quindi con lunghezze d'onda corta, si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, mentre le onde con lunghezze maggiori (basse frequenze) tendono a coinvolgere gli strati più profondi, così come di seguito illustrato.



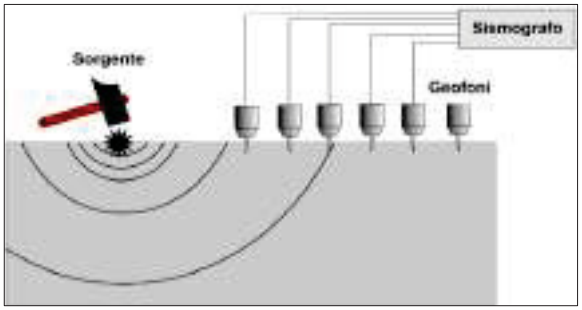
La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati di campo;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

La metodologia può essere di tipo sia attivo che passivo, o la combinazione di entrambi:

- nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate artificialmente in un punto noto in modo non casuale e vengono registrate da stendimenti (arrays) lineari di sensori; Il metodo attivo è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli, perchè fornisce con un miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30 metri da piano campagna; infatti con esso si ottiene una curva di dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 Hz e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo, in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche;
- nel metodo passivo lo stendimento di ricezione può essere sia lineare, che circolare e con esso si misura il rumore di fondo ambientale esistente; dall'utilizzo del metodo passivo si ottiene una maggiore investigazione in termini di profondità, ma una minore risoluzione delle velocità degli strati, soprattutto quelli più superficiali.

Le acquisizioni sono state realizzate tramite la stesa di un cavo sismico rettilineo lungo 22 metri, posizionando 12 geofoni verticali a frequenza naturale di 4,5 Hz e con un passo di due metri l'uno dall'altro. Il sismografo utilizzato per le acquisizioni dei dati in campagna è il modello PASI 16SG24 a 24 canali. L'energizzazione del terreno è stata ottenuta impiegando una mazza del peso di 9 kg. La figura seguente illustra lo schema di disposizione dei sensori e di trasmissione dell'impulso.



Durante la fase di acquisizione sono stati impostati shots a diverse distanze dall'estremità dell'allineamento sismico per valutare la stabilità della curva di dispersione sperimentale apparente; sono state quindi calcolate le velocità di taglio del sottosuolo sintetizzando il modello del terreno in cinque unità sismiche.

	Vs [m/s]	Profondità base [m da p.c.]	Litologia	SPT
LIVELLO 1	150	3 – 3,6	Sabbia limosa	1
LIVELLO 2	240	8	Sabbia ghiaiosa deb. limosa	7
LIVELLO 3	260	14 – 16	Sabbia ghiaiosa	9
LIVELLO 4	260	18	Argilla (?)	12 – 13
LIVELLO 5	330	30	Sabbia e ghiaia	23

Stratigrafia sismica prova MASW.

Ubicazione stendimento sismico.

Le energizzazioni sul lato A di norma hanno presentato distribuzioni di energia "sinuose" e valori di Vs più variabili, con leggere inversioni di velocità dopo i 20 m. Esse sono state ritenute meno attendibili delle energizzazioni sul lato A' perché anche nella rifrazione si è notata una dispersione di energia, probabilmente dovuta a movimenti di terra (scavi e riempimenti) che hanno disturbato la propagazione delle onde.

Le NTC 2018 hanno introdotto il parametro Vs_{eq} (valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, in m/s), definito dall'espressione:

$$Vs,eq\ (m/s) = H / \Sigma\ hi / Vi$$

con:

- hi = spessore in metri dello strato i-esimo,
- Vi = velocità dell'onda di taglio nello strato i-esimo,
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per la prova in oggetto, i depositi hanno profondità H del substrato superiore a 30 m, pertanto la velocità equivalente delle onde di taglio $Vs_{(eq)}$ è definita dal parametro $Vs_{,30}$, ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dallo sviluppo del calcolo si ottiene un valore di $Vs_{(eq)}$ compreso tra 256 e 259 m/s, corrispondente a un **sottosuolo di categoria C**.

Esecuzione dell'indagine sismica.

Di seguito si riportano i dati delle singole acquisizioni e i risultati delle relative elaborazioni.

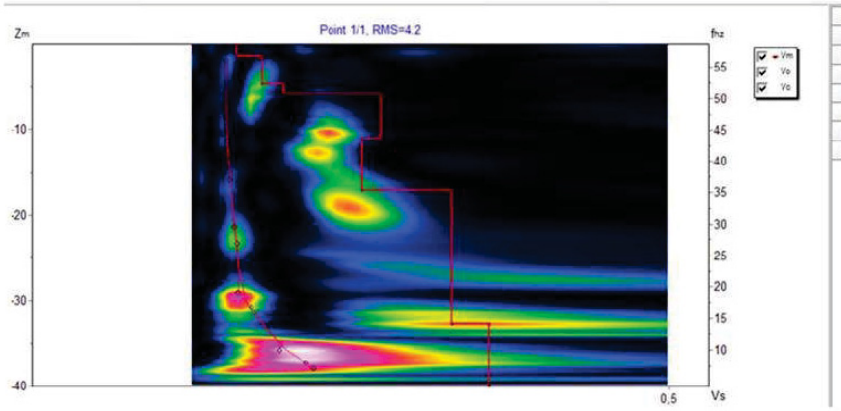
DATI DELL'ACQUISIZIONE

Numero geofoni= 12-verticali
Frequenza geofoni= 4,5 Hz
Distanza intergeofonica= 2 m
Energizzazione= mazza da 9 kg

Durata acquisizioni= 2 s
Tempo campionamento= 1000 µs
Filtri= nn
Guadagno= 20
Offset laterale = 2 m – lato A'

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking	Andamento delle V_S con la profondità (V_S model)	Vs strato



N	Vs	PR	ρ	Z	H	Vs strato
1	0.14	0.22	1.7	0	1.5	
2	0.16	0.22	1.7	1.5	3.1	160
3	0.18	0.22	1.7	4.6	1.2	
4	0.26	0.22	1.7	5.8	5.4	250
5	0.24	0.22	1.7	11.1	6.1	
6	0.32	0.22	1.7	17.2	15.4	330
7	0.35	0.22	1.7	32.7	*	

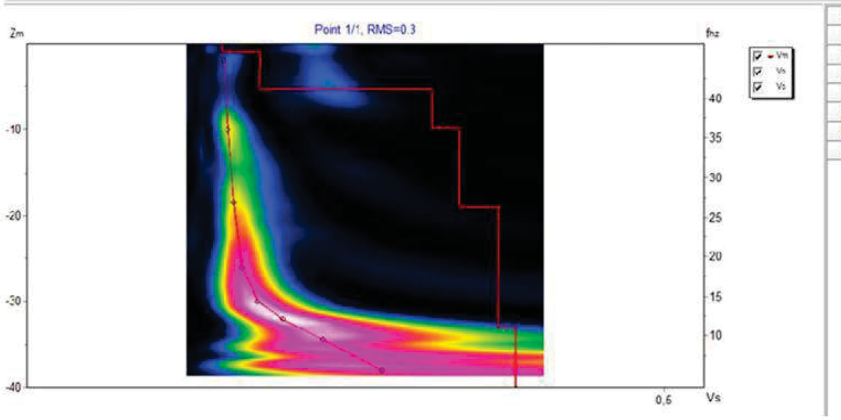
DATI DELL'ACQUISIZIONE

Guadagno= 20
Tempo campionamento= 500 µs

Offset laterale = 2 m – lato A

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking	Andamento delle V_S con la profondità (V_S model)	Vs strato



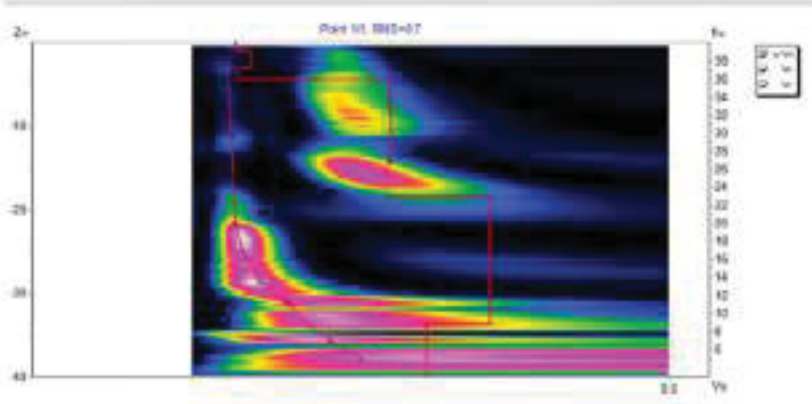
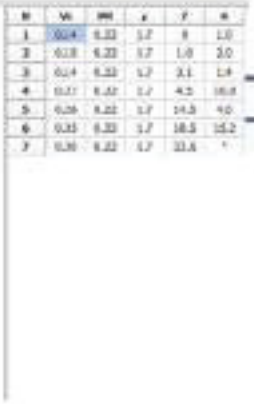
N	Vs	PR	ρ	Z	H	Vs strato
1	0.13	0.22	1.7	0	1.0	
2	0.16	0.22	1.7	1.0	1.7	160
3	0.16	0.22	1.7	2.7	2.8	
4	0.31	0.22	1.7	5.4	4.5	320
5	0.33	0.22	1.7	9.9	9.2	
6	0.36	0.22	1.7	19.1	13.9	370
7	0.38	0.22	1.7	33.0	*	

DATI DELL'ACQUISIZIONE

Guadagno= 10 **Offset laterale** = 5 m – lato A'

Tempo campionamento= 500 µs

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

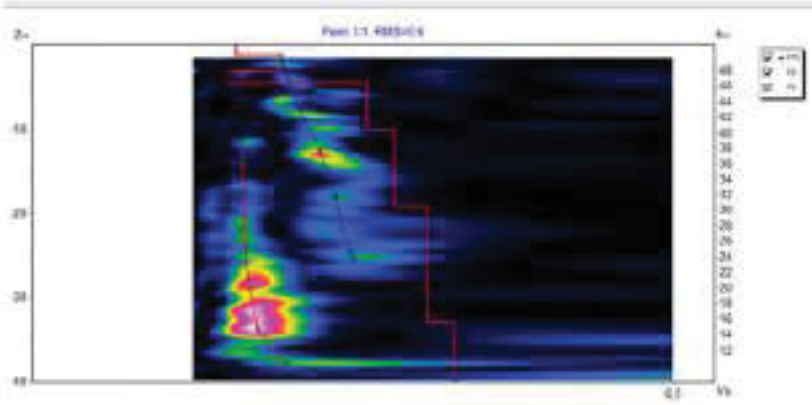
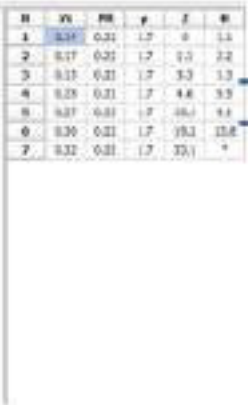
Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking	Andamento delle V_s con la profondità (V_S model)	Vs strato
		150 260 330

DATI DELL'ACQUISIZIONE

Guadagno= 100 **Offset laterale** = 10 m – lato A'

Tempo campionamento= 2000 µs

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking	Andamento delle V_s con la profondità (V_S model)	Vs strato
		150 260 310

3.2.5. Prospezione geofisica con metodo sismico a rifrazione

Se in un punto del suolo si provoca una vibrazione, essa si propaga ammortizzandosi progressivamente; il tempo necessario affinché la vibrazione stessa raggiunga dei ricevitori dipende dalla natura e dalla disposizione delle formazioni geologiche. La prospezione sismica ha per base lo studio di questi tempi di propagazione.

La vibrazione del suolo si traduce in un'emissione di onde di deformazione o onde elastiche e la propagazione delle onde stesse dipende dalle caratteristiche elastiche del mezzo. Tali onde si distinguono in:

- onde di Love e onde di Rayleigh, che si propagano solamente sulla superficie del suolo, hanno importanza nello studio dei terremoti e non vengono considerate nella sismica a rifrazione;
- onde longitudinali (onde P) di compressione o di dilatazione;
- onde trasversali (onde S) di taglio, la deformazione del terreno è perpendicolare alla direzione di propagazione.

Le onde trasversali si propagano meno velocemente delle onde longitudinali, le quali per prime arrivano ai sismometri. Il campo di variazione della velocità per uno stesso tipo di roccia è abbastanza ampio; la velocità, infatti dipende da numerosi fattori, quali ad esempio la compattezza, la porosità, la tessitura, l'alterazione della roccia. Inoltre la velocità sismica aumenta sia con la profondità, che con l'età delle formazioni rocciose e con l'aumentare dello stato di compattezza della roccia.

Nel suo propagarsi l'onda perde energia; tre sono le principali cause:

- una diminuzione naturale dell'intensità iniziale;
- una diminuzione per dissipazione sulle interfacce, dove l'energia in parte è riflessa, in parte è rifratta;
- una perdita di energia dovuta alle resistenze dissipative del mezzo in cui si propaga, cioè all'assorbimento graduale da parte del mezzo stesso sino all'estinzione.

Le operazioni sul terreno si articolano essenzialmente in tre principali fasi e comportano:

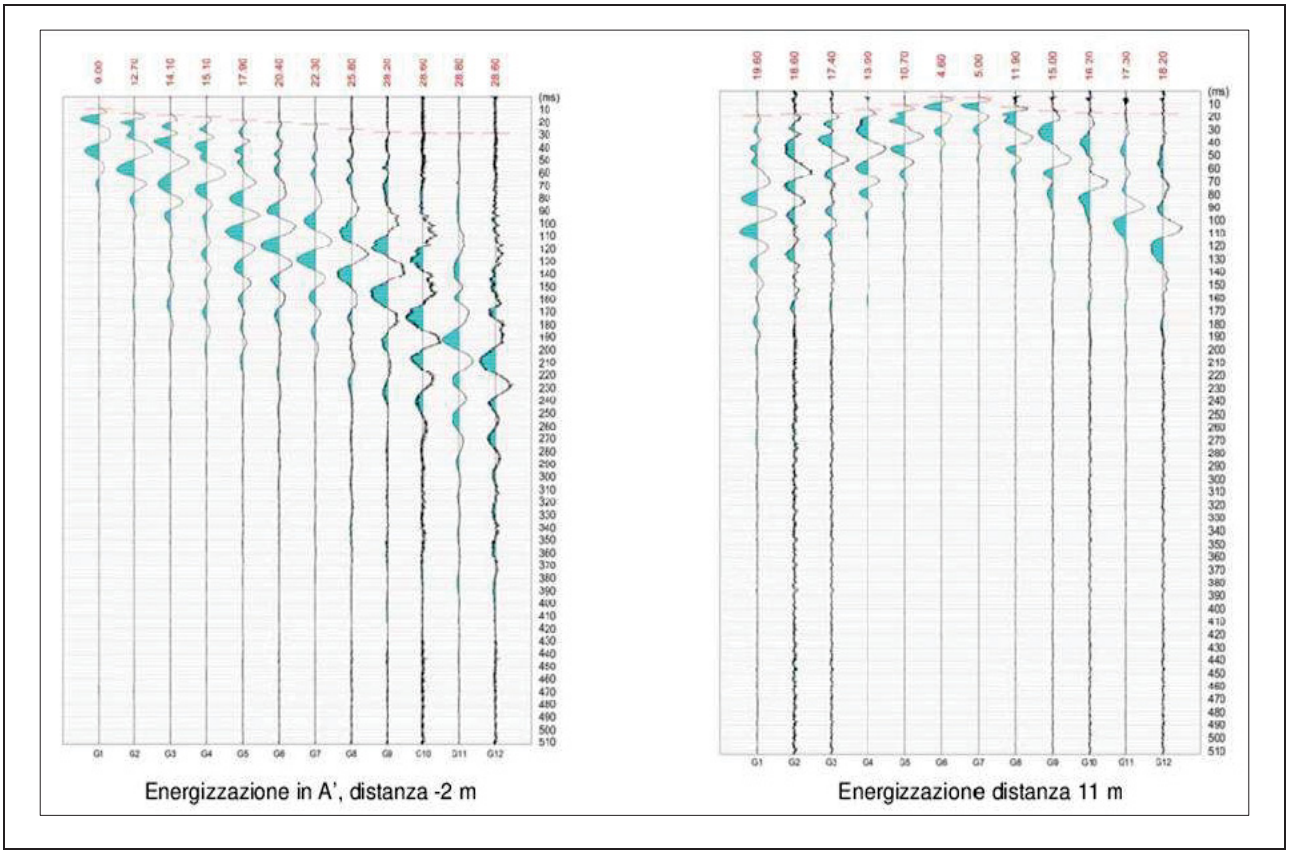
- realizzazione di un dispositivo sismico comprendente almeno due punti di scoppio ed una serie di ricevitori, chiamati geofoni, allineati sul piano topografico da investigare; i geofoni sono strumenti infissi per alcuni centimetri nel terreno che trasformano l'energia sismica in energia elettrica; la vibrazione del suolo è provocata generalmente nella sismica a rifrazione dallo scoppio di una carica all'interno di un cannoncino o dalla percussione di un grosso martello su una piastra collocata sul terreno stesso;
- trasmissione e registrazione dell'istante di scoppio e degli arrivi delle onde ai geofoni mediante un'unità centrale (sismografo); si ottengono così dei sismogrammi, che rappresentano i punti di partenza per la successiva interpretazione una volta estrapolati i tempi di arrivo; un sismogramma è costituito da più tracce (quanti sono i geofoni infissi nel terreno) e costituisce la rappresentazione grafica dei movimenti verticali del suolo;
- correzione topografica dei punti geofono e/o scoppio mediante opportuno rilievo topografico.

In conclusione, l'indagine geofisica, con la tecnica della sismica a rifrazione, è un'indagine di tipo indiretto, che permette di ricostruire la distribuzione in profondità di zone caratterizzate da differenti valori di velocità delle onde elastiche longitudinali (Vp), associabili a variazioni di granulometria e/o grado di fratturazione negli ammassi rocciosi. Tale tecnica permette quindi di delineare degli

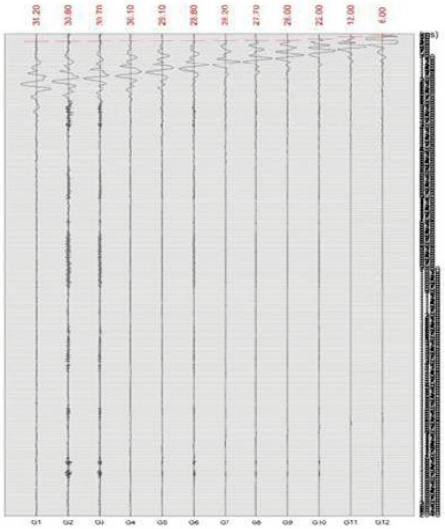
"orizzonti" rifrangenti che separano i depositi clastici di copertura dal sottostante substrato lapideo, che possono contribuire a più ampie correlazioni stratigrafiche e a ricostruzioni geomorfologiche. Altrettanto significativa è la possibilità di cogliere, entro uno stesso strato, tipici effetti di anisotropia laterale, evidenziati da variazioni dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche, il cui significato fisico va legato alla geologia specifica di ciascun sito di indagine.

Per ciò che concerne le indagini effettivamente svolte, le acquisizioni sono state realizzate tramite la stesa di un cavo sismico rettilineo lungo 22 metri, posizionando 12 geofoni verticali a frequenza naturale di 4,5 Hz e con un passo di due metri l'uno dall'altro. Il sismografo utilizzato per le acquisizioni dei dati in campagna è il modello PASI 16SG24 a 24 canali. L'energizzazione del terreno è stata ottenuta impiegando una mazza del peso di 9 kg. I dati delle acquisizioni sono:

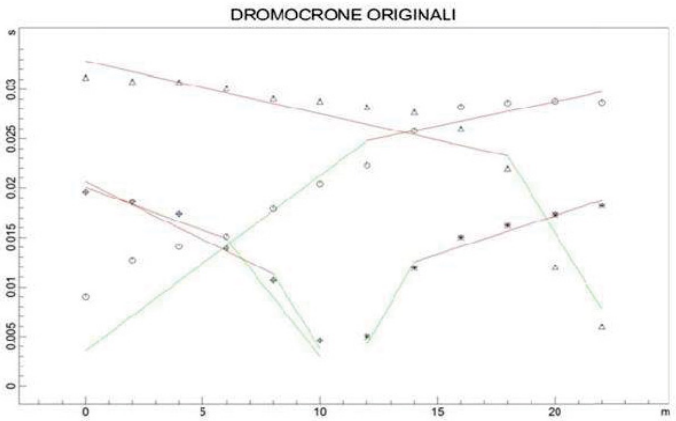
- durata acquisizioni: 512 ms
- offset laterali: 10 m
- n. energizzazioni: 3
- rilievo profilo del terreno: bindelle manuali da 50 m



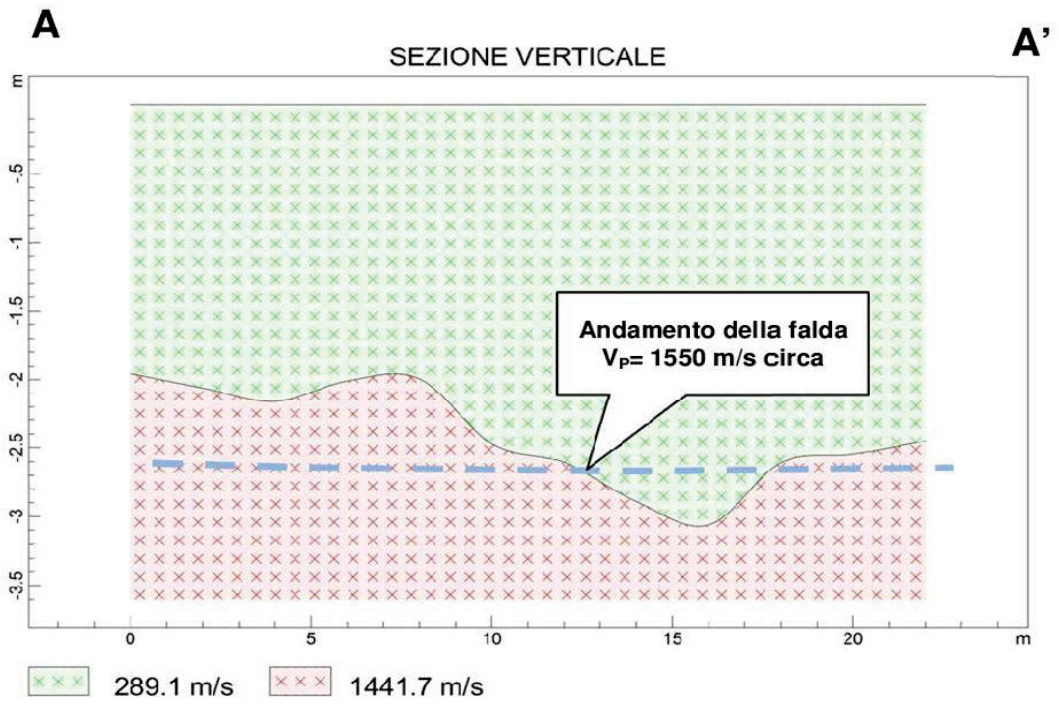
Sismogrammi di acquisizione con individuazione dei primi arrivi.



Energizzazione distanza 24 m



Dromocroma



3.2.6. Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

In data 27 febbraio 2018 è stato eseguito, a sud ovest del Centro Girasole ma in area sempre di proprietà della Società Agricola AF Green S.r.l., un sondaggio verticale denominato S1, i cui risultati sono estendibili al sito d'intervento.

Il sondaggio è stato effettuato mediante sistema a carotaggio continuo; l'attrezzatura utilizzata è stata una sonda perforatrice gommata GEOMARC. Trattandosi di terreni a supporto granulare e quindi sciolti, il sostentamento della parete del foro è stato assicurato dall'infissione di una tubazione di rivestimento provvisoria di diametro adeguato (carotiere 101 mm / rivestimento 127 mm). Tutto il materiale carotato è stato riposto in apposite cassette catalogatrici munite di 5 scomparti della lunghezza di un metro, su cui sono state scritte le progressive di avanzamento del sondaggio.

La descrizione stratigrafica di dettaglio del sottosuolo rilevato durante la perforazione è la seguente:

- 0,00 – 0,30 m terreno vegetale costituito da limo debolmente argilloso
- 0,30 – 3,40 m limo debolmente sabbioso
- 3,40 – 4,20 m argilla grigia
- 4,20 – 10,00 m sabbia ghiaiosa debolmente limosa
- 10,00 – 13,30 m sabbia debolmente ghiaiosa
- 13,30 – 15,00 m sabbia

Cassetta catalogatrice n. 1 da 0.00 a 5.00 m.

Cassetta catalogatrice n. 2 da 5.00 a 10.00 m.

Cassetta catalogatrice n. 3 da 10.00 a 15.00 m.

Esecuzione sondaggio.

3.2.7. Prove geotecniche in foro

La prova SPT (*Standard Penetration Test*) consiste nell'infiggere a percussione nel terreno un campionatore di dimensioni e forma normalizzate, facendolo cadere da un'altezza prestabilita; essa trova il suo migliore campo di applicazione nei materiali a prevalenza sabbiosa, mentre risulta mediamente applicabile nei terreni ghiaiosi e limitatamente applicabile nei terreni fini coesivi.

Si conta il numero di colpi (N1, N2 e N3) necessario per fare penetrare il maglio lungo tre tratti successivi. Il primo valore N1 è considerato di avviamento e se è pari a 50 e l'avanzamento è minore di 15 cm indica che bisogna considerare la prova conclusa. In caso contrario si prosegue con l'infissione per un tratto pari a 30 cm, contando separatamente il numero per avanzare nei primi 15 cm (N2) e nei secondi 15 cm (N3), purché insieme non siano superiori a 100. Se N2 + N3 è pari a 100 e non si raggiunge l'avanzamento richiesto, l'infissione è sospesa e la prova è considerata conclusa. La somma di N2 e N3, chiamata N_{SPT}, è il parametro che serve per valutare la resistenza del terreno. N1, invece, non è considerato perché si riferisce ad un tratto in cui il terreno potrebbe essere rimaneggiato e non più rappresentativo delle reali condizioni del sito.

Per le caratteristiche dell'attrezzatura ci si riferisce agli standard dell'Associazione Geotecnica Italiana ("*Raccomandazioni per le indagini geotecniche*", 1977), che indicano:

- peso maglio: 63,5 kg
- diametro cono: 5,1
- penetrazione 30 cm
- altezza di caduta: 760 mm
- diametro aste di infissione: 50 mm
- peso aste di infissione: 7,0 kg
- rapporto di energia delle aste: 60%

Nel foro del sondaggio S1 sono state eseguite n. 5 prove penetrometriche dinamiche di tipo S.P.T. a diverse profondità, in modo tale che correlando i dati per la singola verticale risultasse indagato l'intero terreno compreso tra - 3 m e - 15 m.

Nella Tabella seguente si riporta il numero dei colpi registrati durante l'esecuzione delle prove alle diverse profondità.

Profondità (m da p.c.)	*N1*	*N2*	*N3*	N_{SPT}
3,0	1	1	1	2
6,0	6	7	8	15
9,0	5	6	11	17
12,0	7	9	12	21
15,0	9	12	13	25

N. colpi registrati durante l'esecuzione delle prove SPT, con calcolo di N_{SPT}

3.2.8. Analisi granulometriche

Dalle cassette catalogatrici di cui al sondaggio S1 descritto al paragrafo precedente, si sono prelevati n. 3 campioni di terreno, rispettivamente alla profondità di 5, 10 e 15 m dal p.c. I campioni prelevati sono stati etichettati in modo stabile riportando informazioni necessarie alla loro identificazione, quali:

- la data di campionamento,
- il codice di identificazione,
- la localizzazione,
- la profondità del campione.

Al termine delle operazioni di prelievo si è provveduto al trasferimento dei campioni presso laboratorio specializzato di analisi terreni, autorizzato e con Sistema di Qualità certificato, ove è stata eseguita l'analisi granulometrica per setacciatura (via umida).

Le analisi granulometriche sono state eseguite secondo gli standard ASTM D 421, D 422 e Raccomandazioni AGI 1994. Per ciascun campione, oltre alla classificazione delle terre, sono stati ricavati i seguenti parametri:

- Umidità %
- Coefficiente di Uniformità D_{60}/D_{10}
- Percentuale di Fine (FC)
- d_{50} diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%

Alla tabella sottostante si riporta una sintesi dei risultati ottenuti. Le copie dei certificati sono riportate in ***Appendice 4***, ove sono rappresentate le curve granulometriche che evidenziano la natura dei terreni significativi alle diverse profondità di campionamento.

Campione	**C1-A**	**C1-B**	**C1-C**
Profondità [m]	5	10	15
Peso secco tot. trattato [g]	1.791,1	1.791,1	1.791,1
Descrizione	sabbia ghiaiosa debolmente limosa	sabbia debolmente ghiaiosa	sabbia
Coefficiente di Uniformità D_{60}/D_{10}	11,18	7,44	5,71
Percentuale di Fine (FC) [%]	9,2	9,2	9,2
D_{50} [mm]	0,7	0,58	0,32

Il parametro Uc – coefficiente di uniformità - è dato dal rapporto D_{60}/D_{10}, ove D_{60} e D_{10} sono i diametri delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

Per quanto riguarda le condizioni di umidità, i terreni analizzati si presentano poco umidi, con un'umidità del 9,1%.

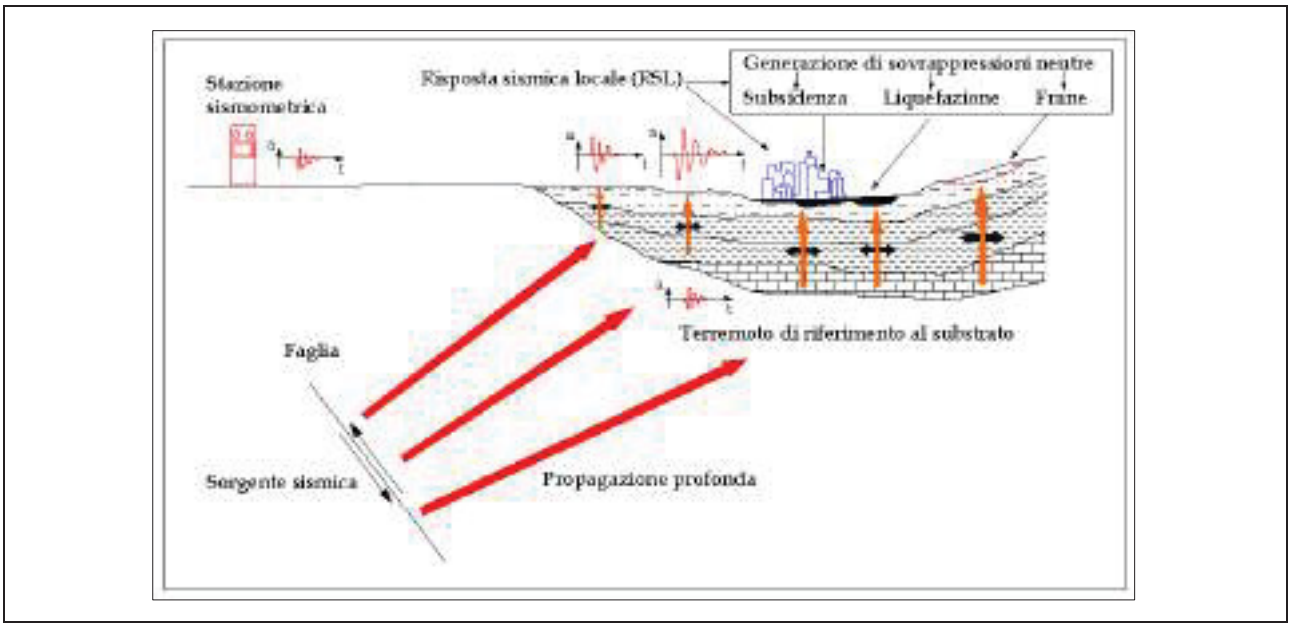
4.1. Individuazione della pericolosità del sito

Il presente capitolo ha lo scopo di valutare la risposta sismica locale in base alle caratteristiche morfologiche, topografiche e litologiche dell'area in esame, e stabilire per essa un grado di interazione degli effetti indotti dagli eventi sismici, allo scopo di indirizzare le scelte progettuali e realizzative in fase di dimensionamento delle opere e loro ubicazione.

Con il termine risposta sismica locale si intende l'insieme delle modifiche che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base posta ad una certa profondità nel sottosuolo subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti, pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area. In funzione, quindi, delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali:

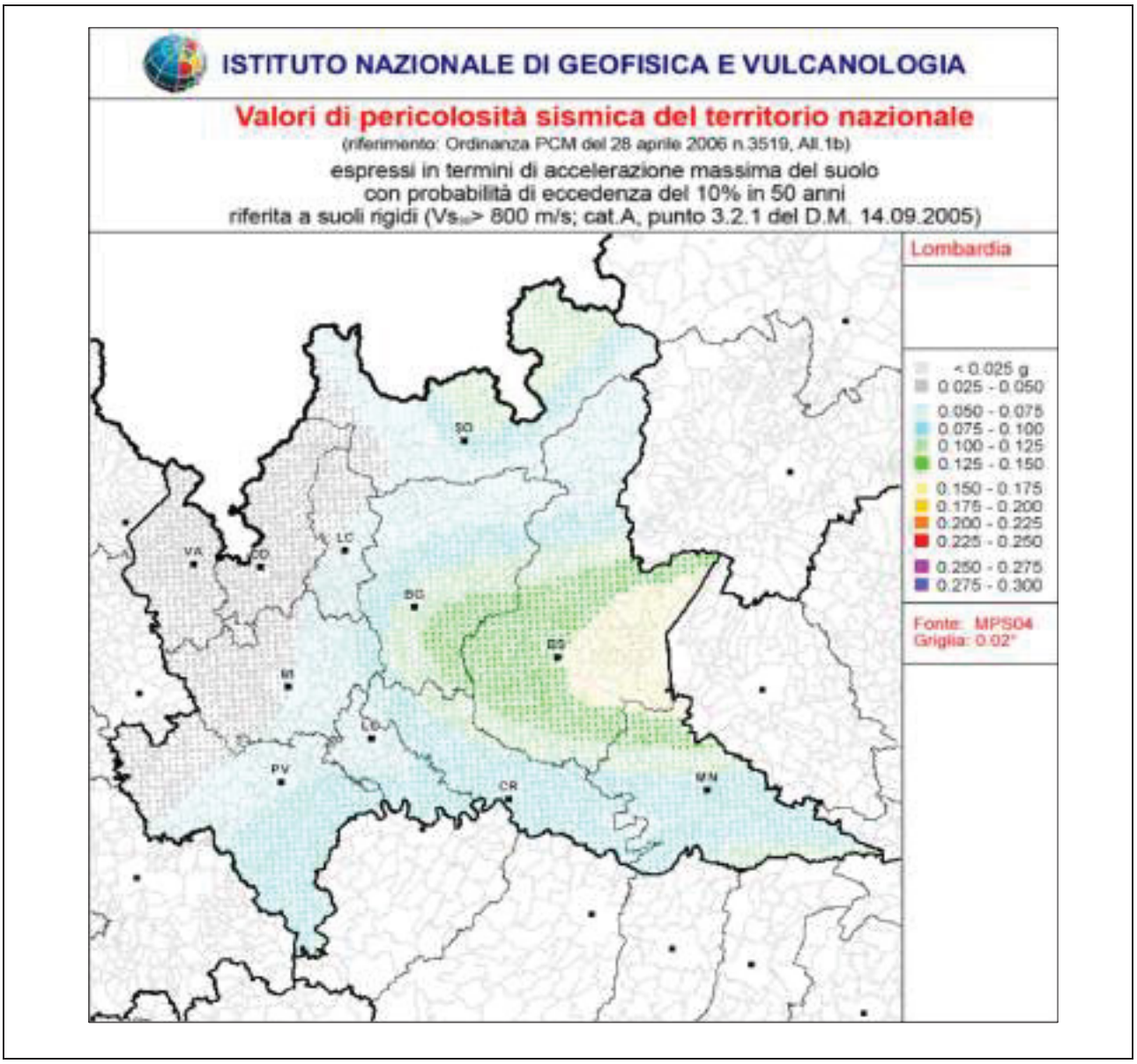
- quelli di sito o di amplificazione sismica locale;
- quelli dovuti ad instabilità.



Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito (scala distorta).

In linea generale, non esistono misure di mitigazione atte a contenere il danno provocato potenziale; le uniche raccomandazioni riguardano accorgimenti logistici e progettuali tali da prevenire un ulteriore rischio di amplificazione locale e in generale un piano di sicurezza generale che preveda anche l'eventualità di condizioni sovrastimate. Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "*pericolosità sismica di base*" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. In particolare, la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g.

Per ridurre gli effetti dei terremoti, l'azione dello Stato si è concentrata sulla classificazione del territorio, in base all'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e sull'applicazione di speciali norme per le costruzioni nelle zone classificate sismiche.



Carta della pericolosità sismica di base (OPCM n. 3519/2006) presa come riferimento nelle NTC.

In Regione Lombardia le condizioni geologiche non sono così drammatiche come in molte altre regioni italiane, tant'è che in generale il livello di pericolosità sismica è basso o molto basso, con la sola eccezione dell'area del Lago di Garda. Anche il patrimonio edilizio nel suo insieme può essere considerato da buono a ottimo (con esclusione degli edifici storici) e il terremoto di Salò del 24 novembre 2004 (grado Mercalli di 7/8) ha causato un danno complessivo di circa 200 milioni di Euro, cifra importante ma non paragonabile ai miliardi di euro dei terremoti in Umbria, Marche e Molise.

Il territorio comunale di Lacchiarella, secondo la classificazione dei comuni lombardi di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129, ricade in **Zona sismica 3**. L'accelerazione sismica orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in un intervallo di tempo di 50 anni, è pari a $\mathbf{Ag_{max} = 0{,}058571\ g}$ (v. O.P.C.M. 3519/06, in Lombardia varia da 0,037 a 0,163 g). L'accelerazione sismica è il principale parametro descrittivo della pericolosità di base utilizzato per la definizione dell'azione sismica di riferimento per opere ordinarie (Classe II delle NTC).

Alla maggior parte dei terremoti è associata una stima di durata del segnale sismico determinata dagli analisti dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Il principale evento segnalato negli archivi storici come risentito dalla popolazione e dai manufatti presenti nel territorio indagato è dato dal sisma del 12 maggio 1802 con area epicentrale nella bassa valle dell'Oglio (al confine tra le province di Brescia e di Cremona) e Maw = 5.67, evento che si è sentito nel milanese con intensità ca. pari a 5. Il paese più colpito fu Orzinuovi, dove la scossa causò crolli parziali in circa metà delle case e lesioni in gran parte delle altre (furono complessivamente danneggiati 400 edifici sui 500 che costituivano l'incasato del paese).

Mappa delle intensità del sisma del 1802 (Mw = 5,67; 8-9 MCS).

Il terremoto di Verona del 3 gennaio 1117 fu l'evento sismico più forte avvenuto nel nord Italia di cui si abbia notizia (Guidoboni *et al.*, 2005) e che ebbe effetti devastanti in tutta l'area raggiungendo una magnitudo momento Mw pari a 6,52. Approfonditi studi recenti hanno verificato come gli effetti

siano dovuti alla concomitanza di più eventi (Guidoboni & Comastri, 2005). Esso venne avvertito anche in buona parte dell'Europa centrale e fu causa di sconvolgimenti economico/sociali (Guidoboni & Boschi, 1991). Ad oggi non si sa ancora se è stato un evento 'random' oppure un vero e proprio terremoto caratteristico.

Il terremoto di Asolo del 1695 interessò l'alto trevigiano a sud del Monte Grappa con distruzioni gravissime in più di 30 centri abitati. La scossa fu avvertita anche da territori emiliani e lombardi sino a Varese. Provocò centinaia di morti, acuendo una crisi economica già in corso e causando lo spopolamento di diversi centri (Guidoboni *et al.* 2007).

Il resto della Pianura Padana ha avuto solo evidenze di "piccoli" terremoti, come quello di Salò.

Anno	Me	Gi	AE	Mw
1117	01	03	Veronese	6.52
1346	02	22	Ferrara	5.81
1873	06	29	Bellunese	6.33
1887	02	23	Liguria occidentale	6.29
1901	10	30	Salò	5.67
1905	04	29	Alta Savoia	5.79
1920	09	07	Garfagnana	6.48
1976	05	06	Friuli	6.43
2012	5	20	Finale Emilia	5.90
2012	5	29	Medolla e Cavezzo	5.80

Storia sismica: catalogo parametrico dei terremoti nel nord Italia - eventi con Magnitudo Momento > 5.6

- **AE = denominazione dell'area dei maggiori effetti,**
- **Mw = Magnitudo momento.**

Nonostante l'apparente monotonia della pianura lombarda, la geometria del sottosuolo risulta molto complessa e interessata da sovrascorrimenti, duplicazioni, ondulazioni e pieghe, generate dalle stesse spinte orogenetiche che hanno determinato la formazione delle Alpi e degli Appennini. In profondità sono infatti presenti tre serie di thrust sepolti, di cui due a sviluppo sequenziale frontale e uno a sviluppo sequenziale a ritroso, costituenti sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico; essi si sono formati attraverso faglie inverse e sovrascorrimenti immergenti verso sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

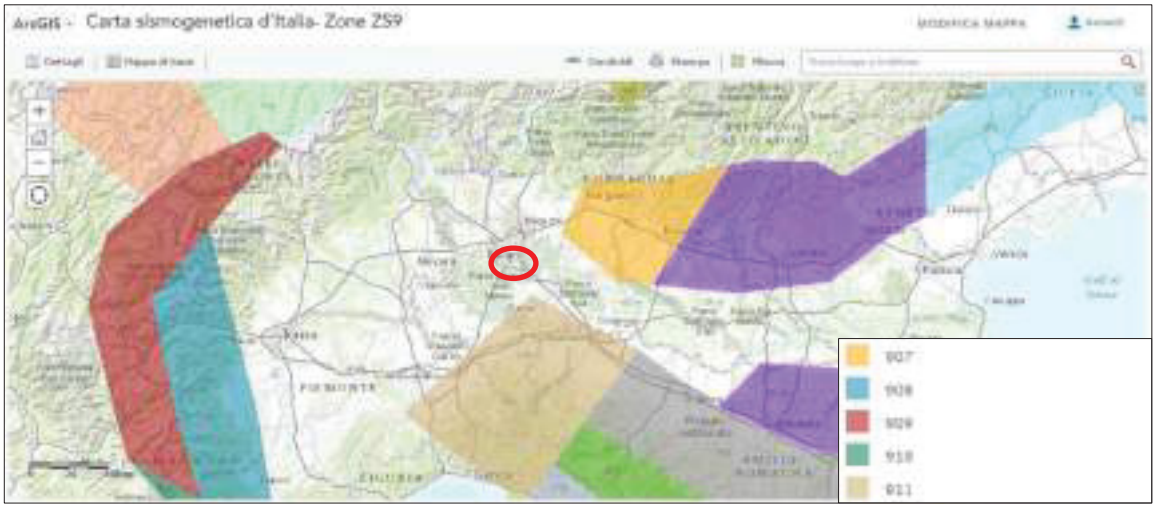
In Letteratura queste zone di scollamento tettonico sono note come "*External Thrust Front*" sull'allineamento Parma – Reggio Emilia – Ferrara, "*Pedeapenninic Thrust Front*" lungo il margine morfologico dell'Appennino Settentrionale, e "*Pedealpine Thrust Front*" sull'allineamento Lodi – Peschiera del Garda – Val d'Adige. Tali zone di scollamento tettonico si estendono su scala regionale in tutto il bacino padano da ovest a est per convergere verso sud, all'altezza di Ravenna, seguendo l'allineamento Appennini – Mare Adriatico.

Nel complesso le strutture note come Pieghe Emiliane e Pieghe Ferraresi costituiscono delle dorsali sepolte (o alti strutturali) che separano o inglobano bacini satelliti subsidenti, nei quali si assiste ad un notevole ispessimento dei sedimenti marini e continentali; si tratta di strutture depresse profonde con andamento tipicamente sinclinalico. In questi settori la subsidenza è instaurata da vari milioni di anni ed in maniera più accentuata dall'inizio del Pliocene con tasso di abbassamento di uno o più mm all'anno. Il tracciato del Po nell'area in esame è quindi impostato in corrispondenza della struttura sinclinalica della Monoclinale Pedealpina, compresa tra l'External Thrust Front e il Pedealpine Thrust Front.

Il Catalogo DISS versione 3.2.0. dell'INGV individua le principali sorgenti sismogenetiche per terremoti di magnitudo superiore a 5.5: l'area in studio non è interessata dalla presenza di sorgenti sismogenetiche composite e la sorgente ITCS115 denominata "*Western S-Alps external thrust shallow-west*" è esterna al comparto in esame e a una distanza di circa 20 km.

Consultando la zonizzazione della Carta sismogenetica ZS9 dell'INGV relativa al Nord Italia si riesce a definire la "*profondità efficace*", ovvero quella profondità alla quale avviene il maggior numero di eventi sismici che determinano la pericolosità della zona. Il territorio comunale di Lacchiarella è posto tra la Zona 907 e la Zona 911. La Zona 907 include la parte più bassa delle province di Bergamo e Brescia ed è caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio – bassa, con la sola eccezione del citato terremoto di Soncino del 1802.

La Zona 911 comprende il cosiddetto "*Arco di Pavia*" e le strutture relative; a essa è stata attribuita una Mw massima pari a 5.68.



Carta sismogenetica ZS9 dell'INGV relativa al nord Italia.

4.2. Valutazione dei parametri sismici sito-specifici (approccio semplificato)

L'approccio semplificato previsto dalle NTC 2018 prevede l'analisi e la valutazione dei seguenti parametri sismici:

- *vita nominale di progetto,*
- *classe d'uso,*
- *periodo di riferimento per l'azione sismica,*
- *condizioni topografiche,*
- *categoria di sottosuolo.*

Nella scelta della strategia di progettazione, mediante l'utilizzo di software dedicato reso disponibile dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si sono considerati i seguenti parametri di input:

- vita nominale di progetto $\mathbf{V_N = 50}$ **anni**,
- classe d'uso **Cu = II**,
- coefficiente d'uso **C = 1**,
- periodo di riferimento per l'azione sismica $\mathbf{Vr = V_N \cdot C = 50}$ **anni**;
- coefficiente di smorzamento viscoso $\boldsymbol{\xi}$ **= 5%**.

Vita nominale di progetto

La vita nominale V_N di un'opera strutturale viene intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, debba poter essere usata per lo scopo a cui è destinata; la vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tab. 2.4.I. delle NTC-18: per le "*costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*" deve essere utilizzato un valore minimo di V_N pari a 50 anni.

Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. L'opera in progetto qui considerata ricade in Classe d'uso II: "*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali […]. Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento), gli uffici, i negozi*".

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su una costruzione sono valutate in relazione a un periodo di riferimento V_R che si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C ($V_R = V_N \cdot C$) (v. anche tab. 2.4.II. delle NTC-18). Nel caso in esame, il periodo di riferimento per la costruzione è pari a 50 anni.

Condizioni topografiche

Il comparto in esame ha una pendenza media di 0,12 gradi, derivata dal modello digitale del terreno del territorio regionale a cella 20x20m; per configurazioni superficiali semplici come quella in esame non sono attese amplificazioni e, adottando la classificazione prevista dalle NTC, risulta la categoria T1: "*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°*". Il valore del coefficiente topografico S_T corrispondente alla categoria topografica T1, è $S_T = 1$.

Categoria di sottosuolo

L'identificazione della categoria di sottosuolo è stata eseguita sulla base dell'indagine sismica effettuata, che ha fornito un valore di $V_{S,eq}$ compreso tra 256 e 259 m/s. La tabella 3.2.II. delle NTC

2018 indica la categoria sismica di appartenenza del suolo di fondazione: in base al valore di Vs ottenuto si può affermare che il terreno sia assimilabile alla categoria C.

Categoria	*Caratteristiche della superficie topografica*
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Fattore di comportamento

Il valore del fattore di comportamento q da utilizzare per ciascuna direzione dell'azione sismica dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità, dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità del materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

- q_0 è il valore massimo del fattore di comportamento, che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto $\alpha u/\alpha 1$ tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;
- K_R è un fattore riduttivo con valore pari a 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari.

Gli Stati Limite sono intesi come gli stati oltre i quali la struttura non soddisfa i criteri di progetto, ovvero gli stati situati alla frontiera tra il dominio di stabilità e quello di instabilità. Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento Vr), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "*probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*" P_{VR}.

Il "*periodo di ritorno*" Tr è il periodo medio intercorrente fra un sisma e il successivo di eguale intensità. Per ciascuno Stato Limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento, il periodo di ritorno del sisma è dato da:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{V_R}) = -C_U \cdot V_R / \ln(1 - P_{V_R}) \qquad (C.3.2.1)$$

Per il sito in esame, i periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica sono:

Valori di progetto		***Tr (anni)***
Stati limite di esercizio - SLE	SLO – P_{VR} = 81%	30
	SLD – P_{VR} = 63%	50
Stati limite ultimi - SLU	SLV – P_{VR} = 10%	475
	SLC – P_{VR} = 5%	975

ove:

- *SLO = Stato Limite di Operatività*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed intenzioni d'uso significativi;
- *SLD = Stato Limite di Danno*: a seguito del sisma la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;
- *SLV = Stato Limite di salvaguardia della Vita*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- *SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Introducendo il periodo fondamentale di struttura T_1 e il fattore di comportamento q, che devono essere forniti dal Progettista e/o Ing. strutturista responsabile, si potranno ricavare gli *spettri di progetto Sd(T)*. Per costruzioni civili o industriali che non superano i 40 m di altezza e con massa uniformemente distribuita, il periodo del modo di vibrare principale, in assenza di calcoli più dettagliati, può essere stimato con la seguente relazione:

$$T_1 = c_1 \cdot H^{3/4} \text{ (analisi lineare statica)}$$

ove:

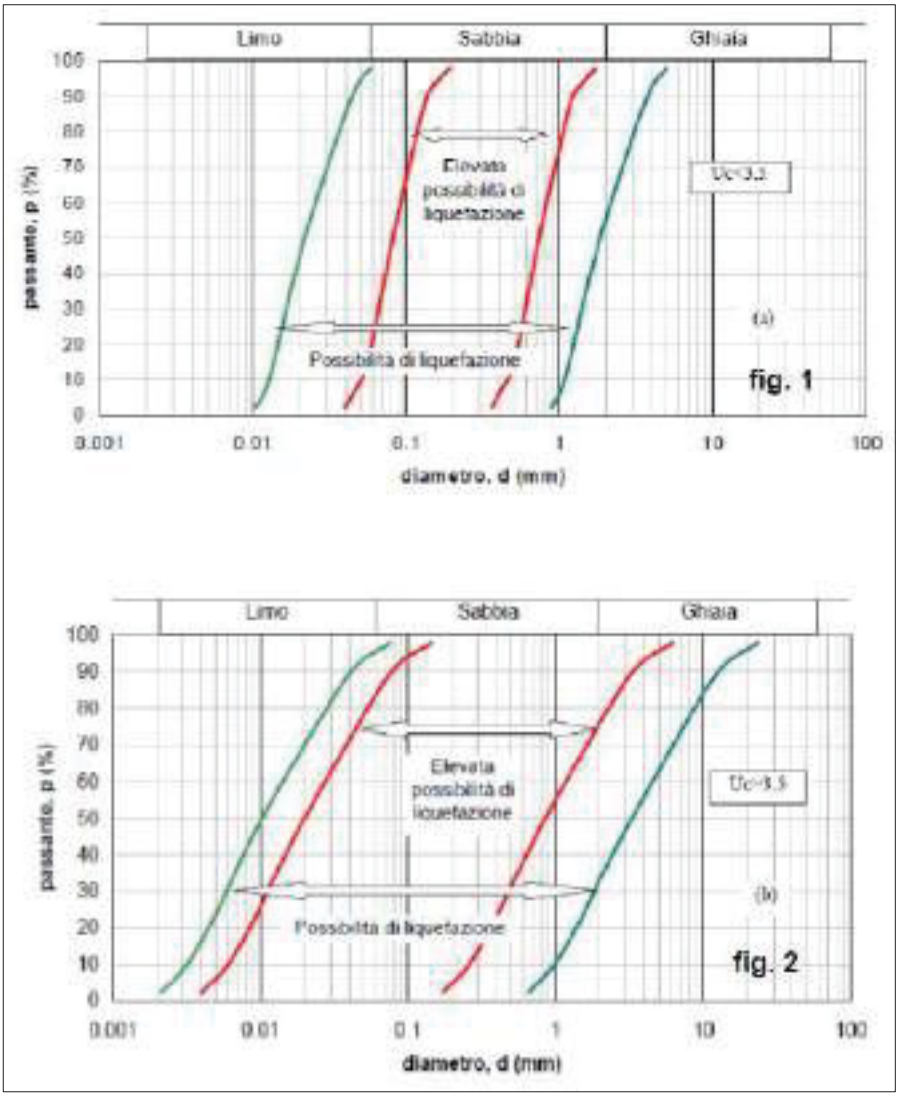
- H = altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione;
- c_1 = coefficiente pari a 0.085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0.075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato, 0.050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.

4.3. Analisi della suscettibilità a liquefazione

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano in genere depositi non coesivi saturi e dipendono principalmente da:

- proprietà geotecniche dei terreni,
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata,
- genesi e storia geologica dei terreni,
- profondità della falda.

Le cronache ufficiali disponibili registrano fenomeni riconducibili alla liquefazione oltre che nel 1570 (ferrarese), anche nei terremoti del 1802 (Soncino), del 1901 (Salò), e di quelli più recenti di Medolla e Cavezzo in Emilia.



Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione: il parametro Uc - coefficiente di uniformità - è dato dal rapporto D60/D10, ove D60 e D10 sono i diametri delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

Nell'ambito della verifica dell'esistenza del rischio di liquefazione dei terreni di fondazione, l'adempimento necessario in presenza di terreni spiccatamente granulari sotto falda è in ragione della prescrizione di cui alle NTC 2018. Facendo riferimento ai criteri di esclusione delle NTC, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna (Ag_{max}), in assenza di manufatti (condizioni di campo libero), minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura alla pagina precedente in caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e in caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

La profondità minima di verifica, per opere ordinarie/a basso rischio e fondazioni superficiali, è pari a 15/20 m.

Nel seguito si espone, per l'area oggetto di intervento, la valutazione delle ricorrenze di cui sopra al fine di verificare se può essere omessa o meno la verifica di liquefazione.

1. Accelerazioni massime attese

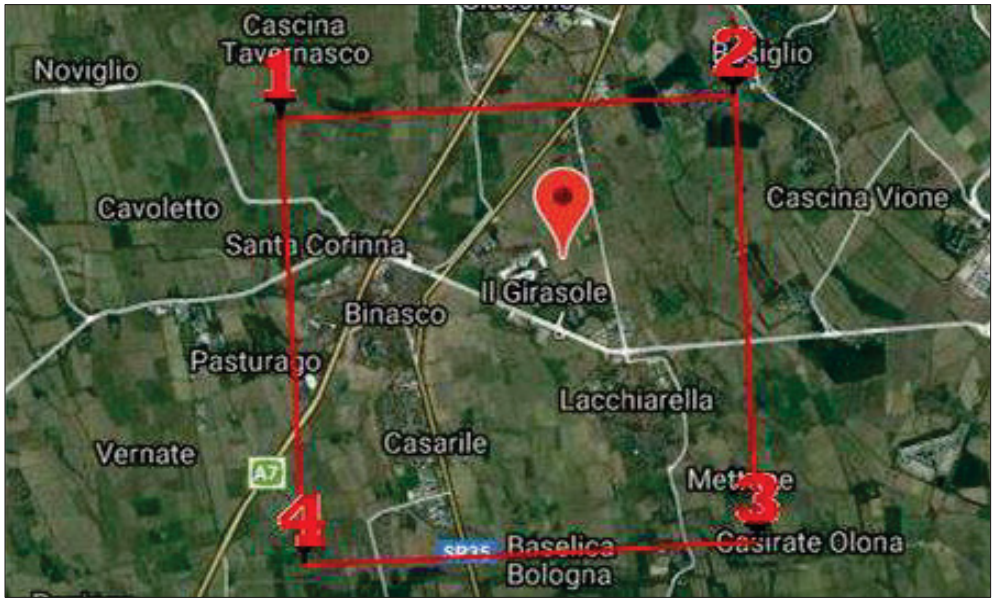
Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche di cui alla normativa e della definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate del sito in oggetto (coordinate geografiche decimali) sono le seguenti (la sigla ED50 si riferisce all'ellissoide di riferimento adottato per la carta di pericolosità dell'INGV, ovvero il sistema di coordinate del reticolo sismico di riferimento European Datum 1950):

- Longitudine: λ_{ED50} 9,126951°
- Latitudine: ϕ_{ED50} 45,338519°

Nodi di riferimento del reticolo:

- vertice 1 - Lat: 45,3543 Lon: 9,0825 Distanza: 3889,541
- vertice 2 - Lat: 45,3569 Lon: 9,1535 Distanza: 2913,616
- vertice 3 - Lat: 45,3070 Lon: 9,1572 Distanza: 4232,904
- vertice 4 - Lat: 45,3044 Lon: 9,0863 Distanza: 4950,574

Utilizzando gli Stati Limite di riferimento ed una categoria di sottosuolo di tipo C si ottengono, per l'area d'intervento, i valori dei parametri ag, Fo, Tc* per i periodi di ritorno Tr associati a ciascuno Stato Limite. Detti valori, riportati nella tabella seguente, sono stati determinati utilizzando sia il metodo della "*media ponderata*" (definito dalle NTC) sia quello della "*superficie rigata*" (esposto nella Circolare del 2009); per il sito in esame, si sono ottenuti valori pressoché coincidenti.



Vertici della maglia di appartenenza (nodi del reticolo intorno al sito).

Stato Limite	*Probabilità di superamento [%]*	*Tr [anni]*	*ag [g]*	*Fo*	*Tc* [s]*
Operatività (SLO)	81	30	0,019	2,554	0,166
Danno (SLD)	63	50	0,025	2,560	0,194
Salvaguardia vita (SLV)	10	475	0,052	2,618	0,281
Prevenzione collasso (SLC)	5	975	0,064	2,648	0,297
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50					

Valori dei parametri sismici a_g, Fo, T_C* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno Stato Limite.

I parametri Ag, Fo e Tc* di cui sopra definiscono le forme spettrali:

- ag = accelerazione orizzontale massima al sito (m/s^2);
- Fo = valore max. del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (-);
- Tc* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (sec).

Kh e Kv sono i coefficienti sismici orizzonte e verticale, che dipendono da vari fattori:

$$Kh = \beta \cdot (a_{max} / g)$$
$$Kv = \pm 0{,}5 \cdot Kh$$

ove:

- β = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g = accelerazione di gravità = 9,80665.

Stato Limite	*Ss*	*Cc*	*St*	*Kh*	*Kv*	A_{max} *[m/s²]*
Operatività SLO	1,5	1,90	1,0	0,006	0,003	0,284
Danno SLD	1,5	1,80	1,0	0,007	0,004	0,363
Salvaguardia vita SLV	1,5	1,60	1,0	0,016	0,008	0,767
Prevenz. collasso SLC	1,5	1,57	1,0	0,019	0,010	0,935

Coefficienti Sismici (tipo di elaborazione: stabilità dei pendii e fondazioni).

Generalmente il potenziale di liquefazione è estremamente basso o nullo per *accelerazioni massime SLV al p.c. minori di 0,1 g = 0,980 m/s²*, pertanto i valori calcolati di accelerazioni massime attese, per le condizioni imposte, consentono di escludere il rischio di liquefazione.

2. Profondità media stagionale della falda

Juan e Elton nel 1991 hanno valutato la suscettibilità alla liquefazione SL di un sito in funzione della soggiacenza della falda SF:

- SL molto alta SF < 1,5 m
- SL alta 1,5 m < SF < 3,0 m
- SL media 3,0 m < SF < 6,0 m
- SL bassa 6,0 m < SF < 10,0 m
- SL molto bassa 10,0 m < SF < 15,0 m
- SL nulla SF > 15,0 m

La distanza della superficie piezometrica dal p.c. attuale risulta, nell'area di intervento, ad una profondità compresa tra -1,1 e -1,4 metri. Il potenziale di liquefazione è nullo per una profondità media della falda superiore ai 15 m dal piano campagna, pertanto il valore di profondità della falda, per le condizioni imposte, non consente di escludere il rischio di liquefazione.

3. Resistenza meccanica del terreno di fondazione

La resistenza meccanica del terreno di fondazione è stata calcolata sulla base delle risultanze delle prove geotecniche in foro SPT. Dal parametro N_{SPT}, una volta normalizzato alla pressione di 100 Kpa, si ottiene il parametro $(N_1)_{60\,C\,S}$, funzione del contenuto di FC:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$$

Diametro perforazione (mm)	101
γ (g/cm^3)	1,8
Profondità prova (cm)	600
s_{vo} (kg/cm^2)	1,08
s'_{vo} (kg/cm^2)	0,67
Profondità falda (cm)	190
γ_{H2O} (g/cm^3)	1

Pressione neutra (kg/cm^2)	0,41
N_{SPT}	15
C_N (Liao & Whitmann, 1968)	1,23366944 < 1,7 (verificato)
Percentuale di fine FC (%)	9,2
d_{50}	0,7
C_E e C_B	1
C_R	0,95
C_S	1
$(N_1)_{60}$	***17,78 – strato liquefacibile***

Diametro perforazione (mm)	101
γ (g/cm^3)	1,8
Profondità prova (cm)	1200
s_{vo} (kg/cm^2)	2,16
s'_{vo} (kg/cm^2)	1,15
Profondità falda (cm)	190
γ_{H2O} (g/cm^3)	1
Pressione neutra (kg/cm^2)	1,01
N_{SPT}	21
C_N (Liao & Whitmann, 1968)	0,94164518 < 1,7 (verificato)
Percentuale di fine FC (%)	9,2
d_{50}	0,58
C_E e C_B	1
C_R	0,95
C_S	1
$(N_1)_{60}$	***19,92 – strato liquefacibile***

Diametro perforazione (mm)	101
γ (g/cm^3)	1,8
Profondità prova (cm)	1500
s_{vo} (kg/cm^2)	2,7
s'_{vo} (kg/cm^2)	1,39
Profondità falda (cm)	190
γ_{H2O} (g/cm^3)	1
Pressione neutra (kg/cm^2)	1,31
N_{SPT}	25
C_N (Liao & Whitmann, 1968)	0,85650284 < 1,7 (verificato)
Percentuale di fine FC (%)	9,2
d_{50}	0,32
C_E, C_B, C_R e C_S	1
$(N_1)_{60}$	***21,52 - potenziale di liquefazione basso***

In genere, il potenziale di liquefazione è estremamente basso per resistenze comprese tra 20 e 30, nullo per resistenze $(N_1)_{60} > 30$.

4. Distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione

Analizzando la distribuzione granulometrica valida per Uc > 3,5 (v. Paragrafo 3.2.8. e certificati in ***Appendice 4***), si nota come i terreni non siano al di fuori del fuso sensibile. Le posizioni delle curve granulometriche nell'ambito del fuso di riferimento normativo, pertanto, non consentono di escludere il rischio di liquefazione.

Alla luce di quanto indicato, considerando le verifiche esposte relative ai 4 parametri analizzati e la possibilità di escludere l'esistenza del rischio di liquefazione per le circostanze relative alle accelerazioni massime, si ritiene possano essere esclusi incipienti fenomeni di liquefazione nell'intorno dell'area investigata. Inoltre, i terreni con Vs > 250 m/s non sono suscettibili alla liquefazione (stima fornita dal CNR), e il valore di Vs calcolato per i terreni in esame è pari a 256-259 m/s (sottosuolo di categoria C).

4.4. Verifica sismica di 2° livello

Secondo quanto previsto dal p.to 2.2 dell'Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011, in fase di pianificazione, in Zona sismica 3 nelle aree urbanizzate e urbanizzabili, bisogna applicare l'analisi sismica di 2° livello. La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione Fa. Il valore di Fa si riferisce ai due intervalli di periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale, intervalli rispettivamente compresi tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello implica l'analisi, ai fini della valutazione dell'amplificazione locale, di effetti di diverso tipo (topografici e litologici) e fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati. Nel caso in esame i suoli sismici definiti in base alla Vs30 (velocità medie delle Vs tra 0 e 30 m di profondità) risultano di tipo C, in quanto sono comprese tra 256 e 259 m/s.

Nel caso dell'area in esame si è così proceduto:

- Scelta dello scenario corrispondente a suoli di tipo C corrispondenti alla scheda litologica "*effetti litologici – scheda litologia sabbiosa*" (comportamento granulare, struttura granulo-sostenuta, clasti con D_{max} > 20 cm inferiori al 15%, frazione ghiaiosa inferiore al 25%, frazione limosa fino ad un massimo del 70%).
- Scelta della curva di correlazione T/Fa sulla base delle caratteristiche dello strato superficiale: *curva 2*.
- Calcolo del periodo proprio di sito utilizzando la relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i}}$$

- Calcolo del valore di Fa per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s in funzione del valore del periodo proprio calcolato e della curva scelta.
- Confronto del valore di Fa calcolato dalle curve di correlazione ed il valore di soglia comunale (variabilità di 0,1).

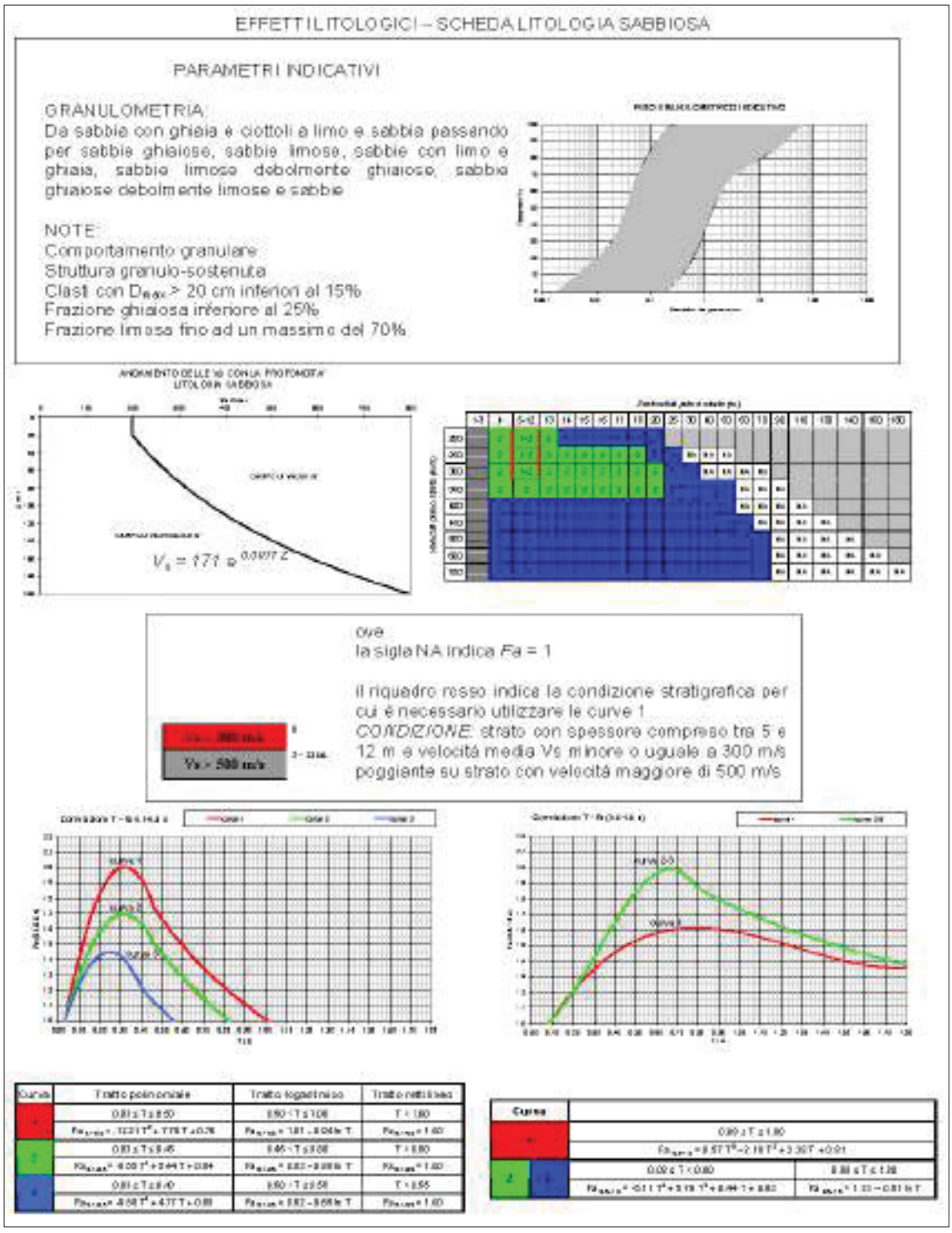
Per il Comune di Lacchiarella, i valori regionali di soglia Fa dei suoli sismici di categoria C sono:

- periodo tra 0.1-0.5 = 1,9
- periodo tra 0.5-1.5 = 2,4

Le verifiche dei Fattori di Amplificazione effettuati per l'area in studio e nei termini esposti in precedenza nel testo, con periodo proprio di sito T = 0.43 (tratto polinomiale della curva), hanno evidenziato i seguenti valori calcolati di Fa:

- periodo tra 0.1-0.5 = 1,56
- periodo tra 0.5-1.5 = 1,72

Nella prospettiva della progettazione e della realizzazione degli interventi in oggetto, sulla base dei risultati di quanto sopra, per entrambi i periodi 0.1-0.5 e 0.5-1.5 la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, quindi si possono applicare gli spettri di norma caratteristici della categoria di sottosuolo C. Non è richiesta l'attuazione di un 3° livello di approfondimento tramite indagini e analisi più approfondite.



5.1. Analisi e valutazioni

Il comparto in esame ricade nella Classe di fattibilità geologica 3, con consistenti limitazioni all'edificazione (v. p.to 3.1 della D.G.R. 2616/2011); il tipo di limitazioni riscontrate (v. p.to 3.2 della citata D.G.R.) sono riconducibili alla vulnerabilità idrogeologica del sito (bassa soggiacenza della falda, che si attesta a profondità inferiori a 1,5 m dal piano campagna locale), pertanto si sono sviluppati i dovuti approfondimenti relativi a tale componente, nonché gli approfondimenti relativi agli aspetti geotecnici dei terreni di fondazione e agli aspetti sismici, la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritti nei capitoli precedenti.

All'interno del comparto in esame sono presenti anche i vincoli stabiliti dalla fascia di rispetto dei corsi d'acqua (fascia di servitù idraulica prevista in 10 m quale valore di vincolo assoluto di inedificabilità, ai sensi del R.D. 523/1904).

Da un punto di vista geologico e geomorfologico, non si segnalano fattori ostativi alla realizzazione del progetto: non si rilevano particolari evidenze morfologiche e alla scala dell'area d'intervento non sono presenti criticità, localmente non è visibile e non è in altro modo nota la presenza di fenomeni di instabilità o legati al dissesto e, in termini di precarietà dei luoghi, allo stato attuale l'area risulta assestata.

Dall'analisi del progetto in relazione alle caratteristiche morfologiche e idrogeologiche del territorio, non sono emersi, nello scenario di attuazione degli interventi, problemi legati all'incompatibilità degli stessi con la tutela idrogeologica del territorio e la realizzazione degli interventi non modifica l'attuale equilibrio geomorfologico dell'area.

Relativamente alla componente idraulica, il comparto in esame risulta completamente esterno alle fasce fluviali del P.A.I. e non ricade negli ambiti di allagamento previsti dal P.G.R.A. - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (v. Direttiva alluvioni 2007/60/CE - revisione 2020).

Per quanto concerne la piezometria dell'area, in corso di esecuzione delle prove penetrometriche è stata rilevata la presenza della falda freatica a profondità comprese tra -1,1 e -1,4 m rispetto all'attuale p.c. Le valutazioni condotte su scala stagionale e pluriennale portano a ritenere che innalzamenti della falda siano prevedibili in relazione agli andamenti stagionali della stessa (falda risalente verso il p.c. nel periodo estivo) e/o in relazione ai dati storici. Il livello di soggiacenza risente infatti dell'andamento della piezometria regionale, ma soprattutto (in tempi brevi) dell'infiltrazione superficiale in caso di precipitazioni.

L'indagine sismica ha permesso di valutare i fenomeni di amplificazione attraverso la procedura semplificata basata sulla definizione della categoria di sottosuolo C di cui al punto 3.2.2 delle NTC 2018. La prova MASW non ha rilevato la presenza di inversioni di velocità significative.

L'analisi sismica di secondo livello è stata effettuata come previsto dalla D.G.R. IX/2616/2011, all. 5, p.to 2.2 per le aree PSL Z4a: a seguito della verifica condotta il fattore di amplificazione sismica

calcolato (F_{ac}) è risultato inferiore alla soglia comunale (F_{as}), pertanto è assicurata la compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito (utilizzo della categoria di sottosuolo C corrispondente a Vs = 256-259 m/sec).

In relazione alla componente sismica di base, inoltre, sono stati ricavati gli elementi di base utili al calcolo dell'azione sismica; introducendo il periodo fondamentale di struttura T1 ed il fattore di struttura q, il Progettista e/o Ing. Strutturista responsabile potrà ricavare gli spettri di progetto.

I fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico sono stati valutati attraverso la procedura semplificata basata sulla definizione della categoria topografica T1 mediante analisi morfologica di dettaglio.

La sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione ha evidenziato l'assenza di fattori scatenanti e/o predisponenti, ovvero il sito è stabile.

Per l'intervento in oggetto, sulla base di quanto sopra (v. §§ precedenti), si è verificata la compatibilità del progetto con la destinazione urbanistica prevista dal PGT vigente e, valutato il quadro progettuale ricostruito in base a quanto fornito ad oggi dal Committente, si ritiene assicurata la compatibilità geologica-geomorfologica e idrogeologica dell'area con la tipologia delle opere in progetto.

5.2. Prospettive

Relativamente alla fase di attuazione degli interventi, nel corso della realizzazione delle opere si dovrà avere cura di rispettare le prescrizioni nel seguito fornite, che riguardano in particolare gli aspetti di maggior rilevanza corrispondenti al piano delle fondazioni (definizione dei cedimenti ammissibili e interventi migliorativi), sulla base dei quali sarà compito del Progettista effettuare le dovute valutazioni degli elementi a disposizione e richiedere eventuali approfondimenti d'indagine.

Gli interventi dovranno essere dimensionati tenendo conto della presenza e della sottospinta idraulica corrispondente alla situazione di falda acquifera a ca. 1.0-1.5 m dal p.c. Alla luce delle considerazioni svolte, non sembra verosimile considerare ad oggi una quota di posa significativamente inferiore a quella del piano campagna. Per la tutela degli acquiferi sotterranei, inoltre, dovrà essere prevista una corretta gestione del cantiere al fine di evitare la percolazione nel sottosuolo di acque inquinate.

La problematica geotecnica è essenzialmente riconducibile all'ammissibilità dei carichi di progetto e a quella dei cedimenti, che deve essere valutata in funzione delle caratteristiche delle strutture che si poseranno e del rischio di cedimenti differenziali. Sulla base delle valutazioni svolte, si dovrà procedere alla scelta della soluzione definitiva per ciò che concerne le fondazioni: ad oggi, sembra verosimile che si debba ricorrere a fondazioni profonde di tipo indirette quali i pali battuti.

La definizione delle quote / profondità di posa delle strutture dovrà considerare la necessità di prevedere la realizzazione di adeguati sottofondi, in alternativa ai quali potrà eventualmente essere presa in considerazione la progettazione di interventi migliorativi di stabilizzazione dei terreni di fondazione.

La stabilizzazione delle terre con calce, metodo alternativo a quelli più tradizionali di sbancamento e sostituzione dei terreni, consentirebbe l'utilizzo di materiali limosi o sabbiosi non considerati idonei per la formazione di piani di posa in genere attraverso il solo trattamento in sito del materiale medesimo, trattamento che consentirebbe la stabilizzazione nel tempo del materiale lavorato rendendolo insensibile alle azioni dell'acqua (sotto il profilo volumetrico) e alle azioni del gelo-disgelo al fine di sostenere i carichi di progetto, prevenendo deformazioni e cedimenti non ammissibili. Prima di dare inizio alle lavorazioni di cantiere, si renderebbe necessario effettuare uno studio preliminare di laboratorio al fine di definire la formulazione ottimale delle miscele da utilizzare attraverso:

- identificazione granulometrica del terreno;
- determinazione caratteristiche geotecniche dello stesso;
- studio di miscele sperimentali;
- realizzazione di un campo di prova per la verifica in scala reale dei dati di laboratorio;
- scelta dell'opportuno legante (es. calce) e sue percentuali da utilizzare.

Successivamente si procederebbe alla fase attuativa con eventuale irrorazione dei terreni in relazione al tasso d'umidità presente al momento sullo spessore dello strato da trattare, seguita dalla stesa del legante, dalla immediata miscelazione dello stesso al terreno e dal successivo costipamento, operazioni che dovrebbero essere effettuate mediante impiego di appositi macchinari (stabilizzatrice, spandi-calce a dosaggio digitale, rulli a piastre vibranti e rulli gommati di peso adeguato). Tali operazioni offrirebbero quantomeno i seguenti vantaggi:

- riduzione dei volumi da sbancare e movimentare e delle aree di stoccaggio da occupare;

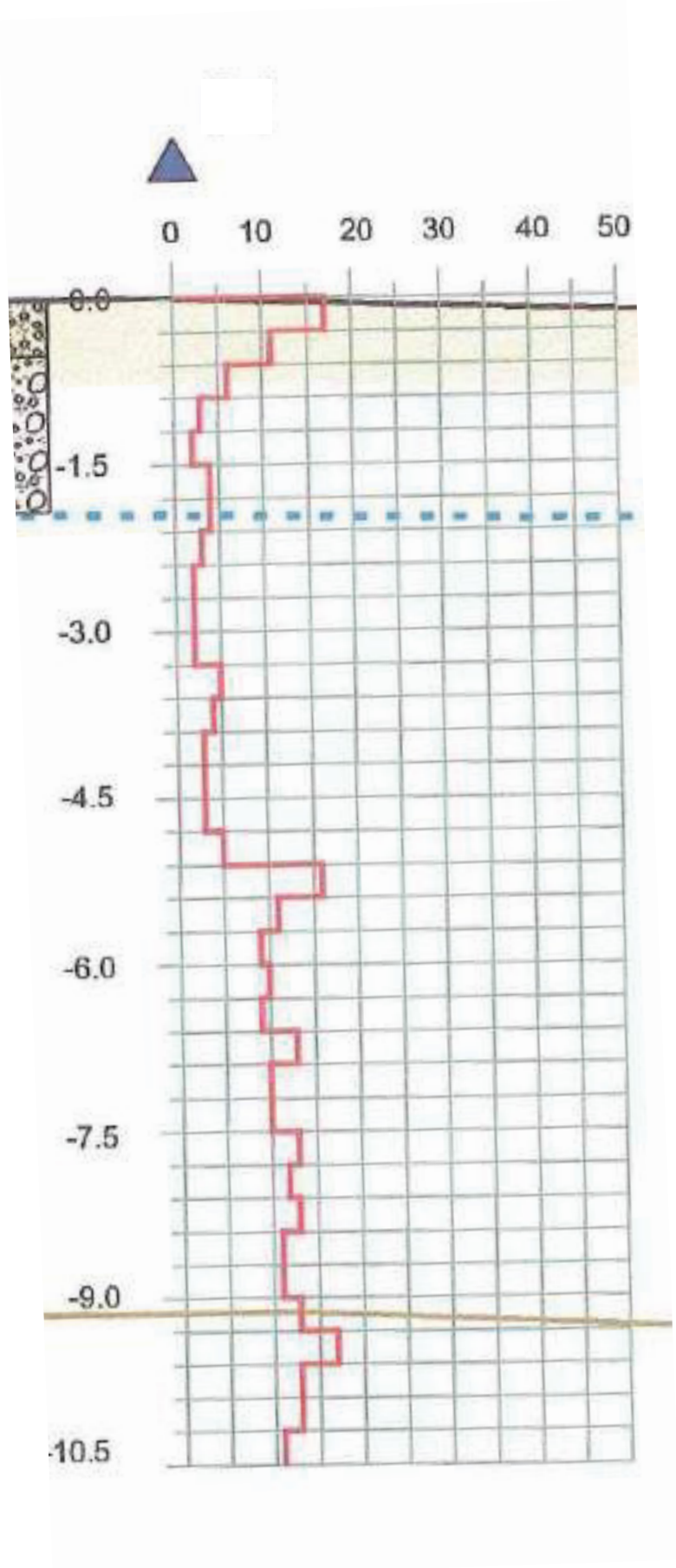
- immediatamente a seguito della lavorazione sarà possibile effettuare transiti di carichi pesanti;
- eventuale recupero di materiali limo-argillosi presenti in sito;
- netta separazione tra gli strati trattati e strati sottostanti senza utilizzo di geotessili;
- incremento dell'indice CBR (portanza dei terreni), riduzione dei cedimenti stimati, incremento della resistenza all'erosione e all'azione del gelo/disgelo;
- tempi (brevi) di esecuzione e certa riduzione dei costi di intervento sui piani di posa.

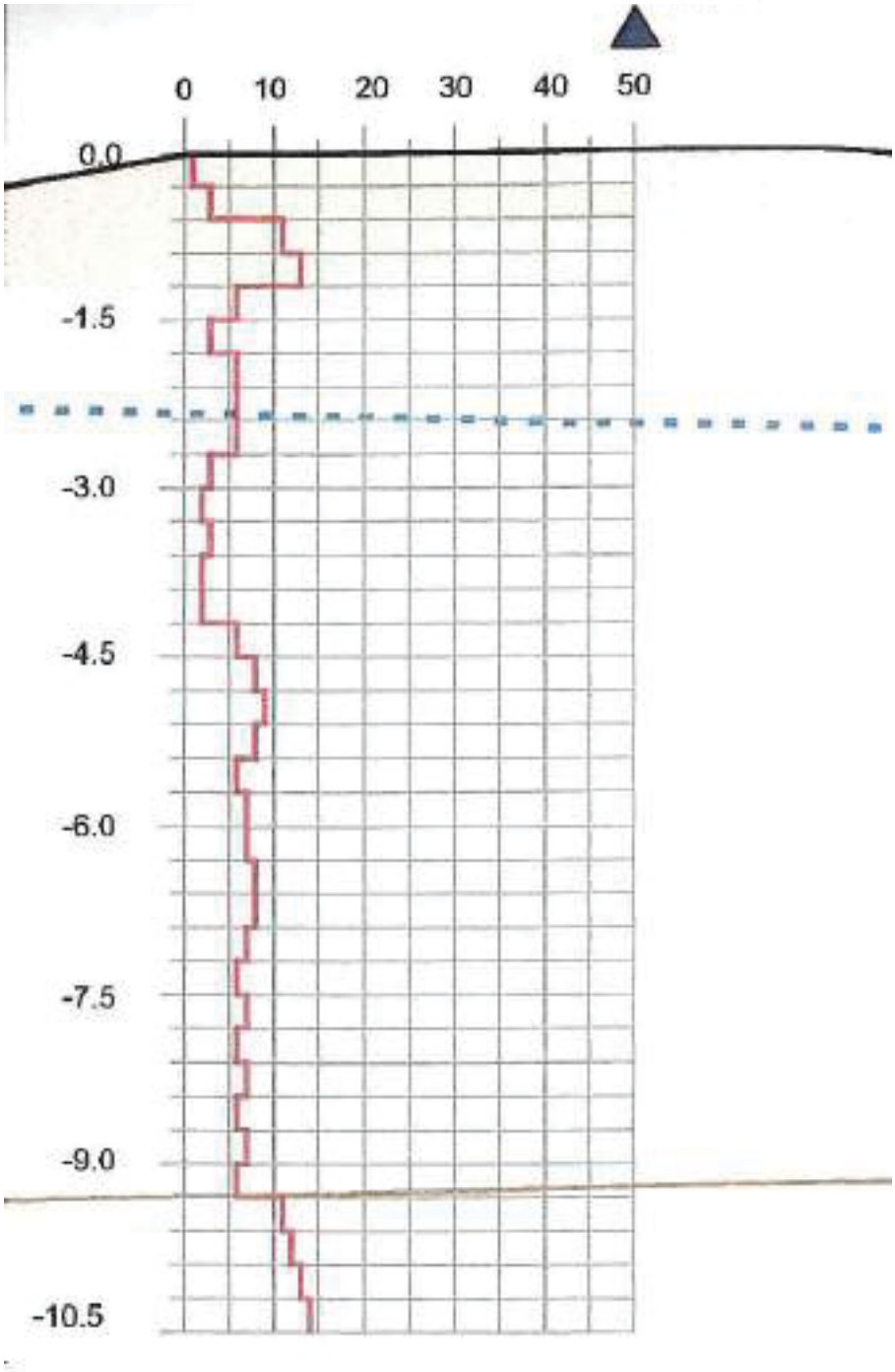
In fase di realizzazione degli interventi, fatte salve le ulteriori prescrizioni fornite dalla legislazione vigente in materia e dalle norme tecniche di settore, si forniscono le seguenti raccomandazioni:

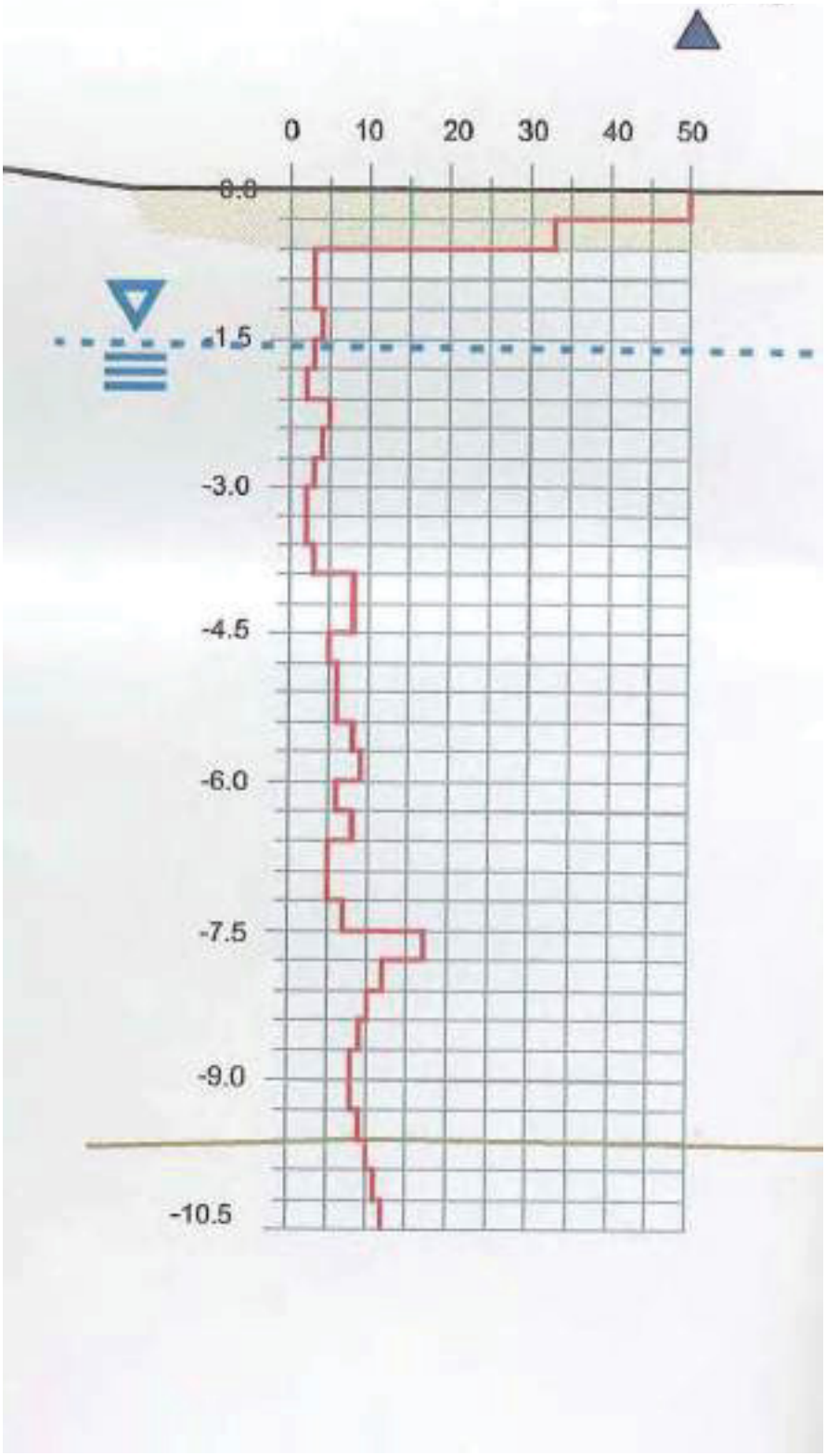
- durante la fase di realizzazione delle opere si dovrà avere sempre cura di verificare che le ipotesi di progetto corrispondano effettivamente a quelle realizzate nel corso degli interventi;
- sarà cura dell'Impresa e della D.L., in caso di varianti in corso d'opera, l'adozione di soluzioni tecniche comunque a favore della sicurezza; sarà compito del Progettista effettuare le dovute valutazioni e richiedere eventuali approfondimenti di indagini.

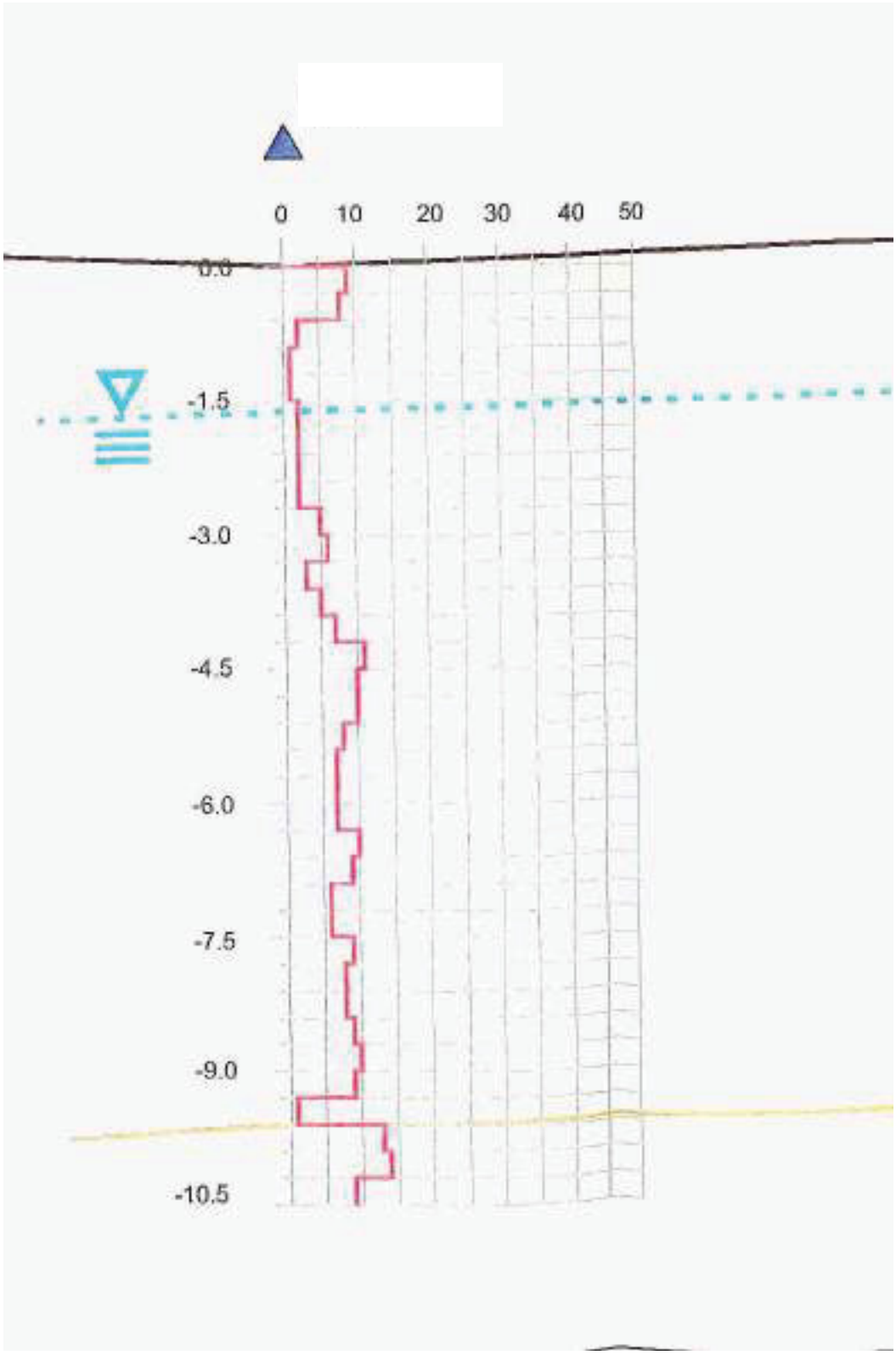
APPENDICE 1

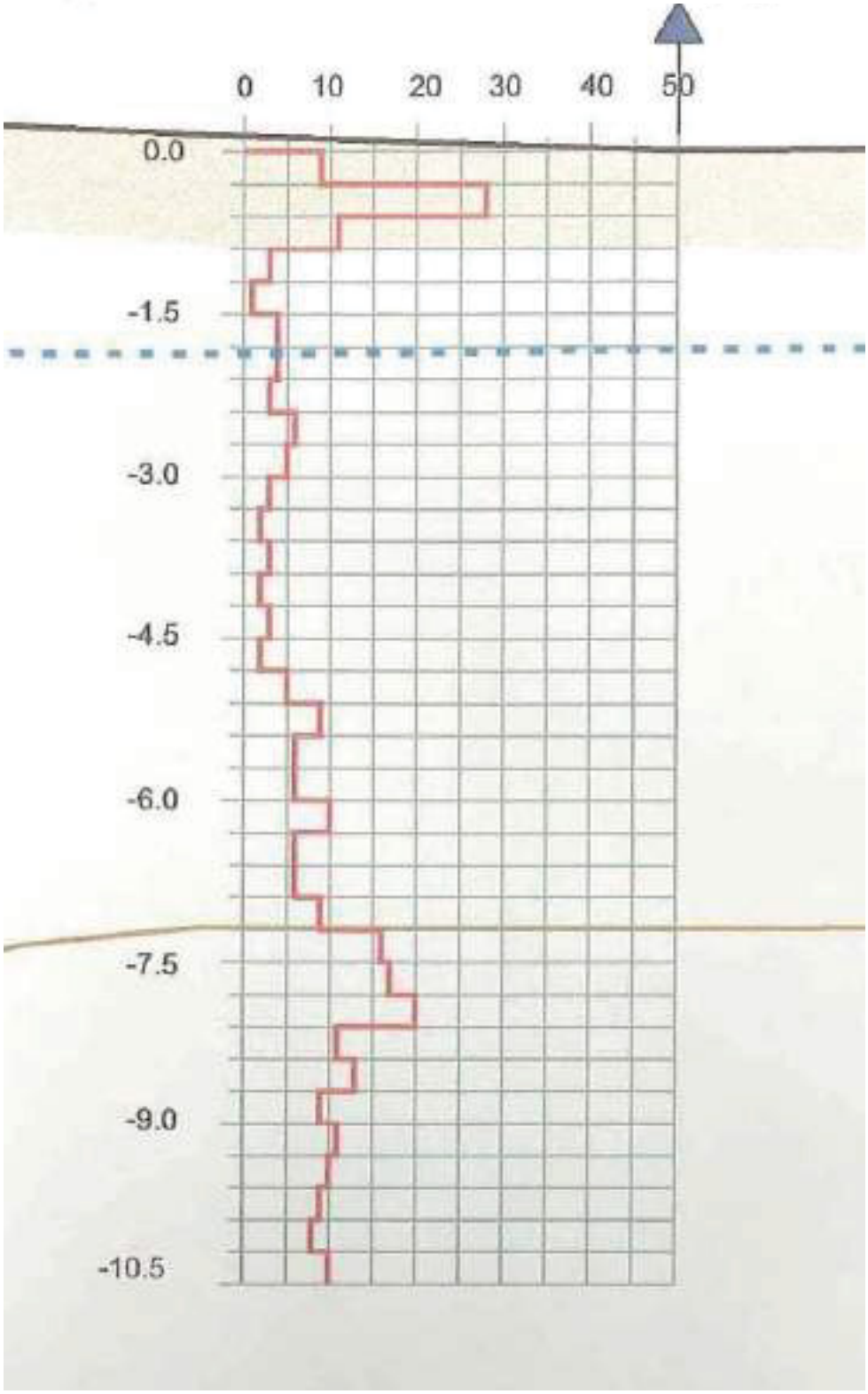
DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE PREGRESSE

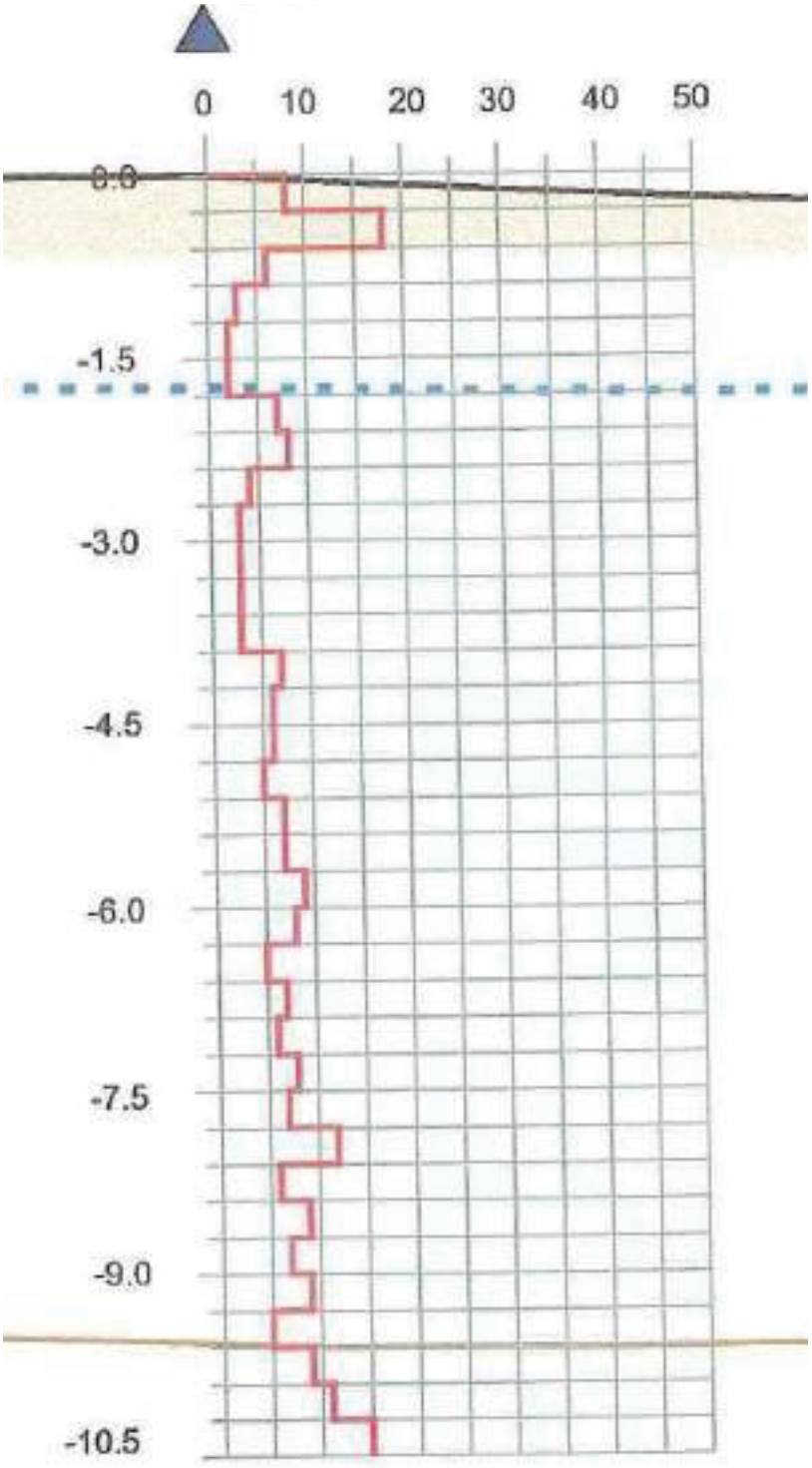

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

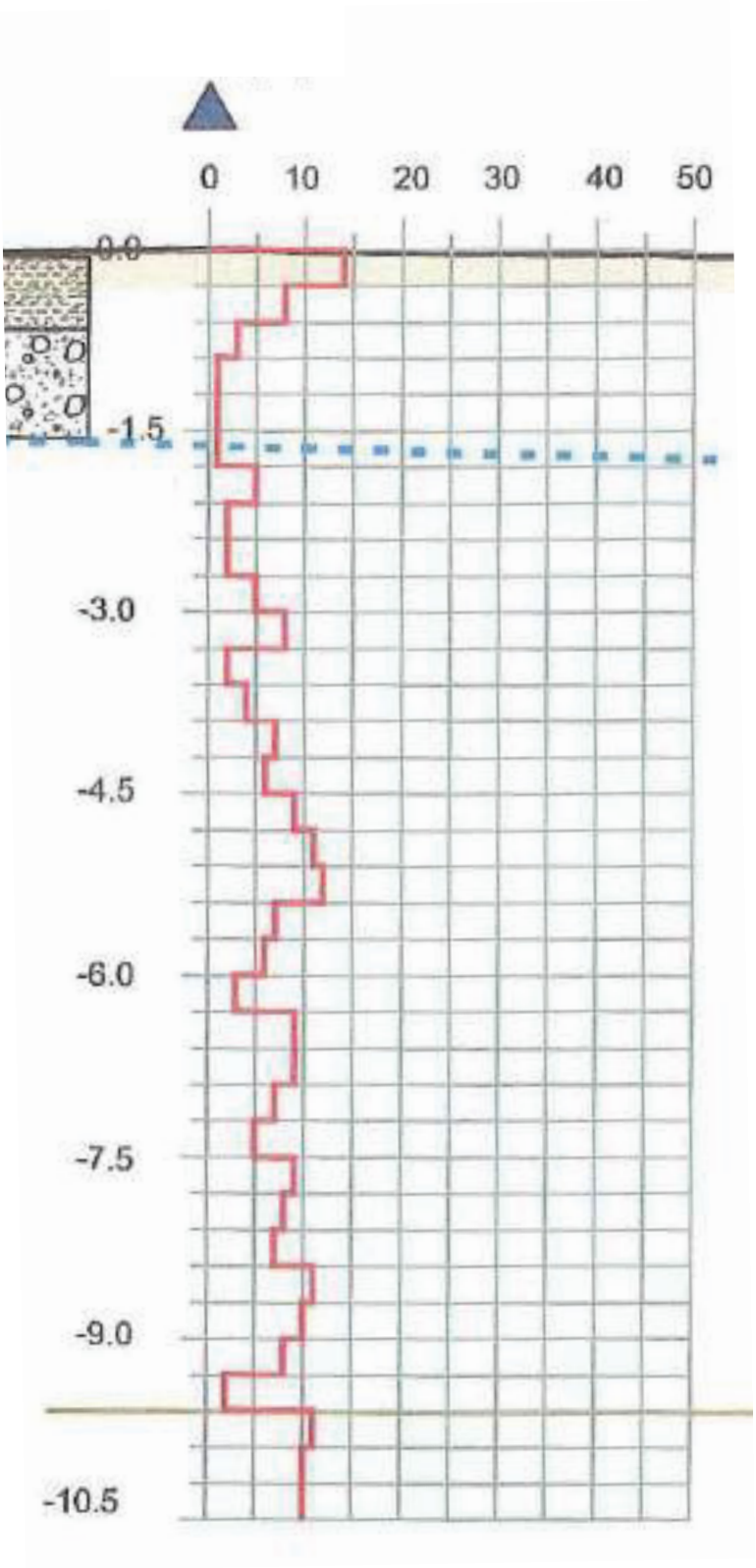

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

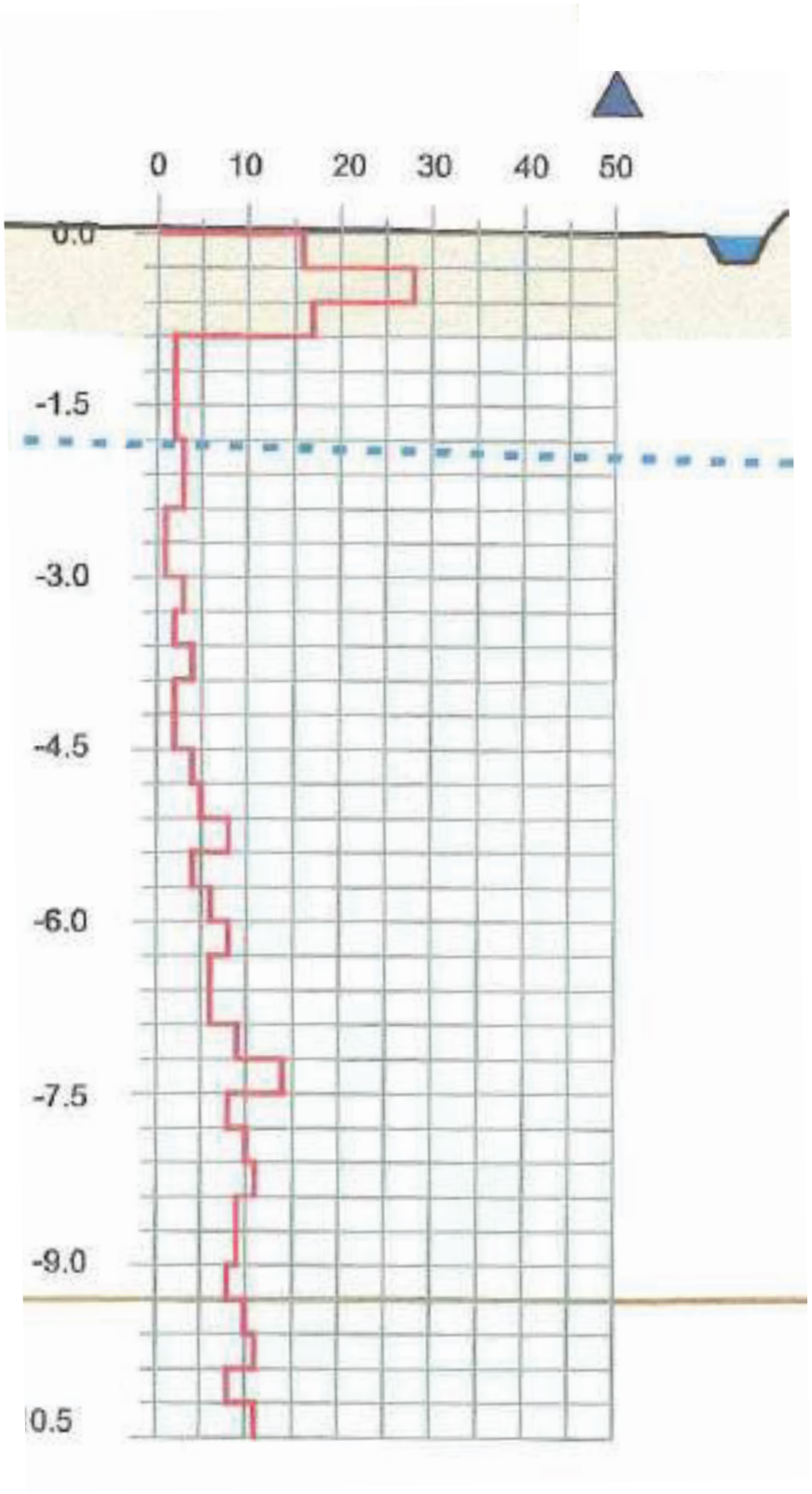

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

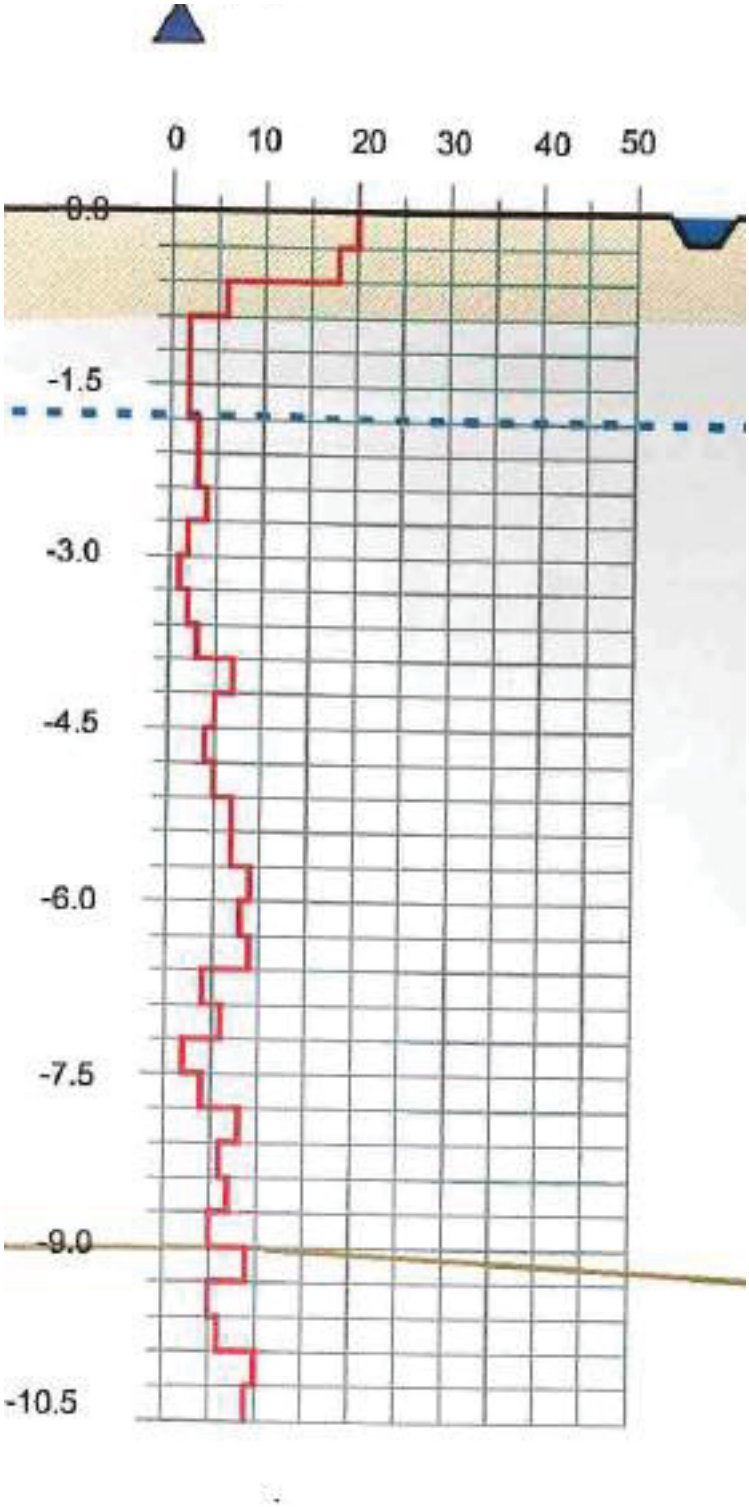

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5


0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5


0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

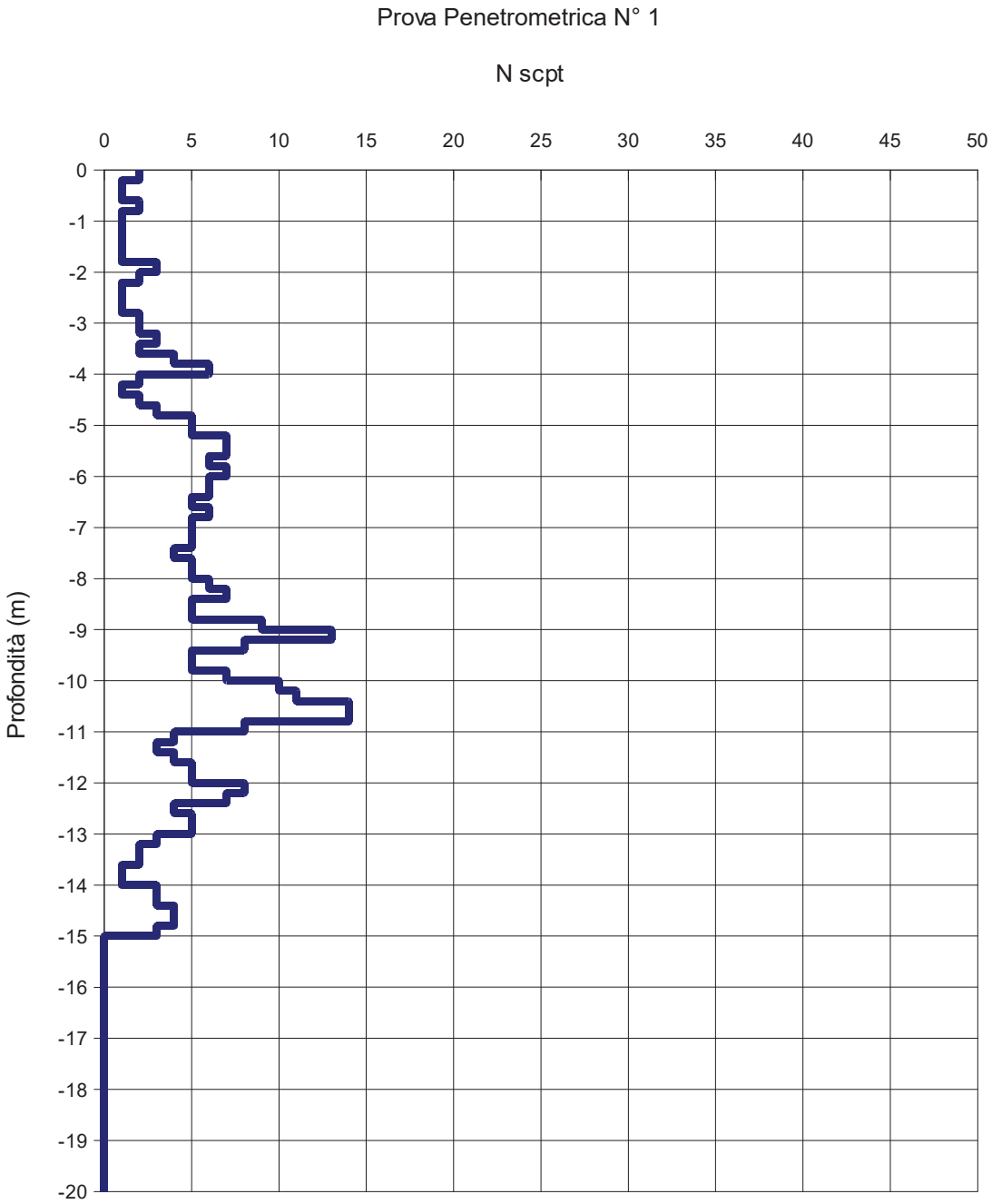

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5


0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
0.5

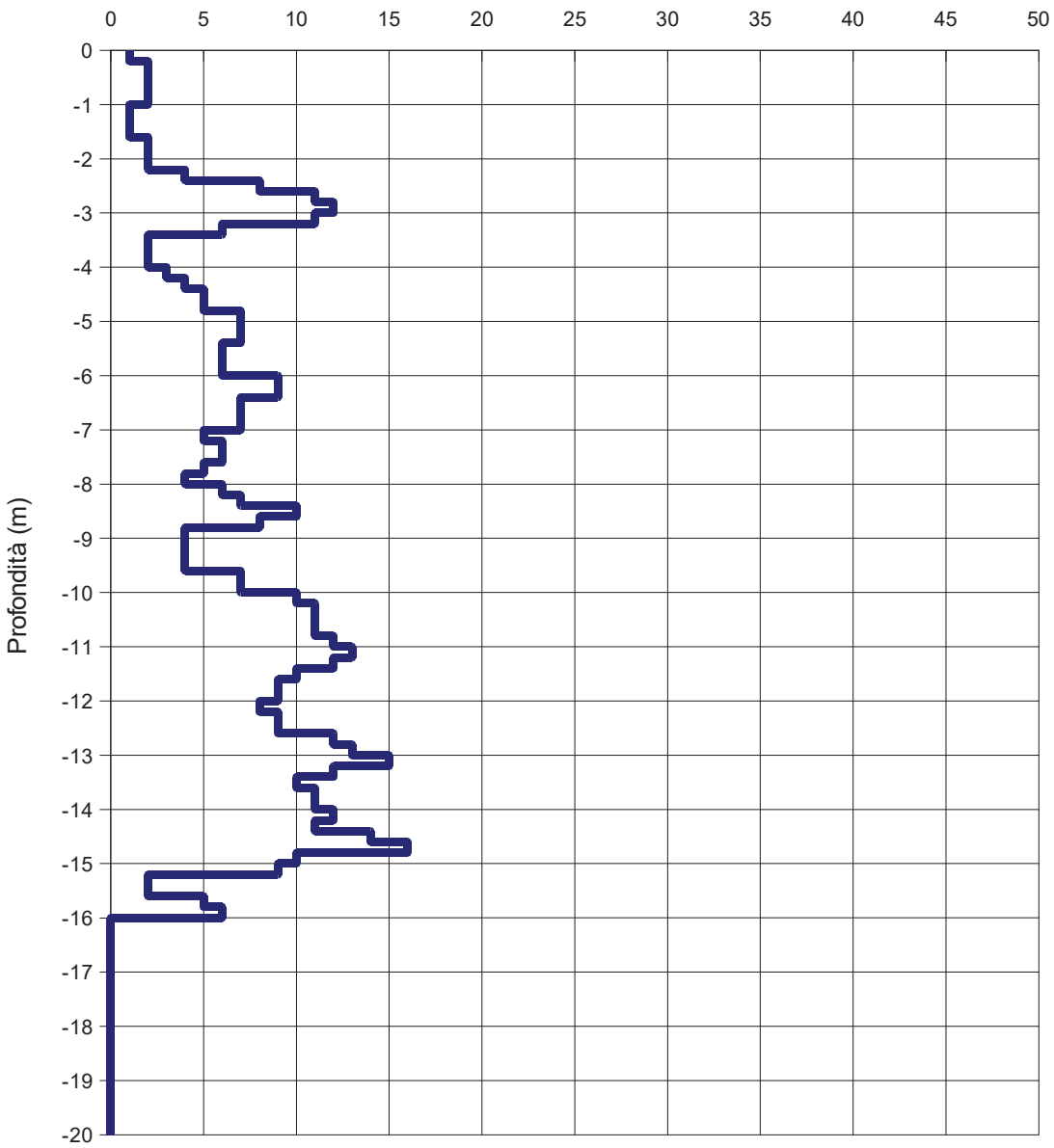

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

APPENDICE 2

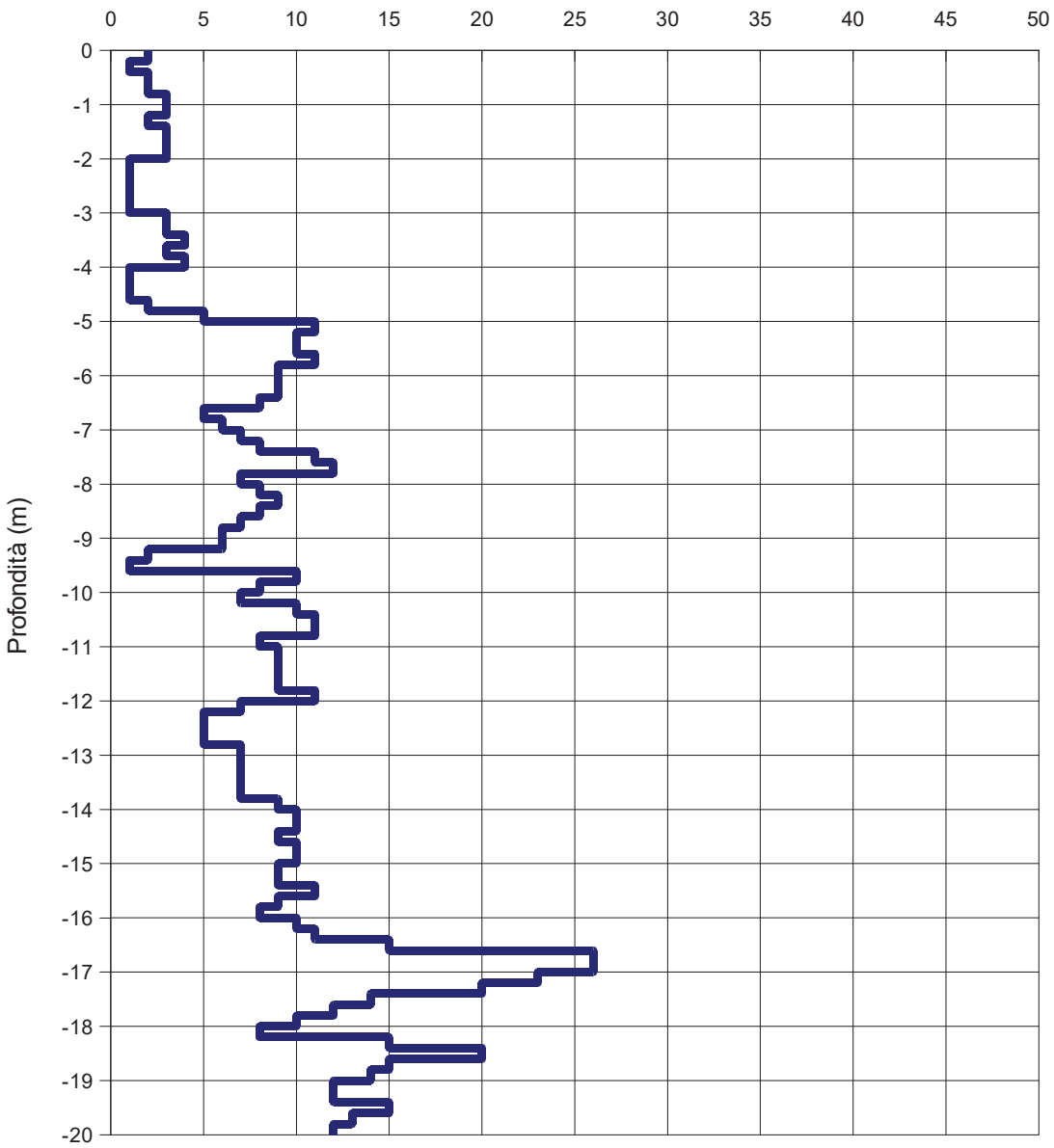
DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE EFFETTUATE


Prova Penetrometrica N° 1
N scpt
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
Profondità (m)

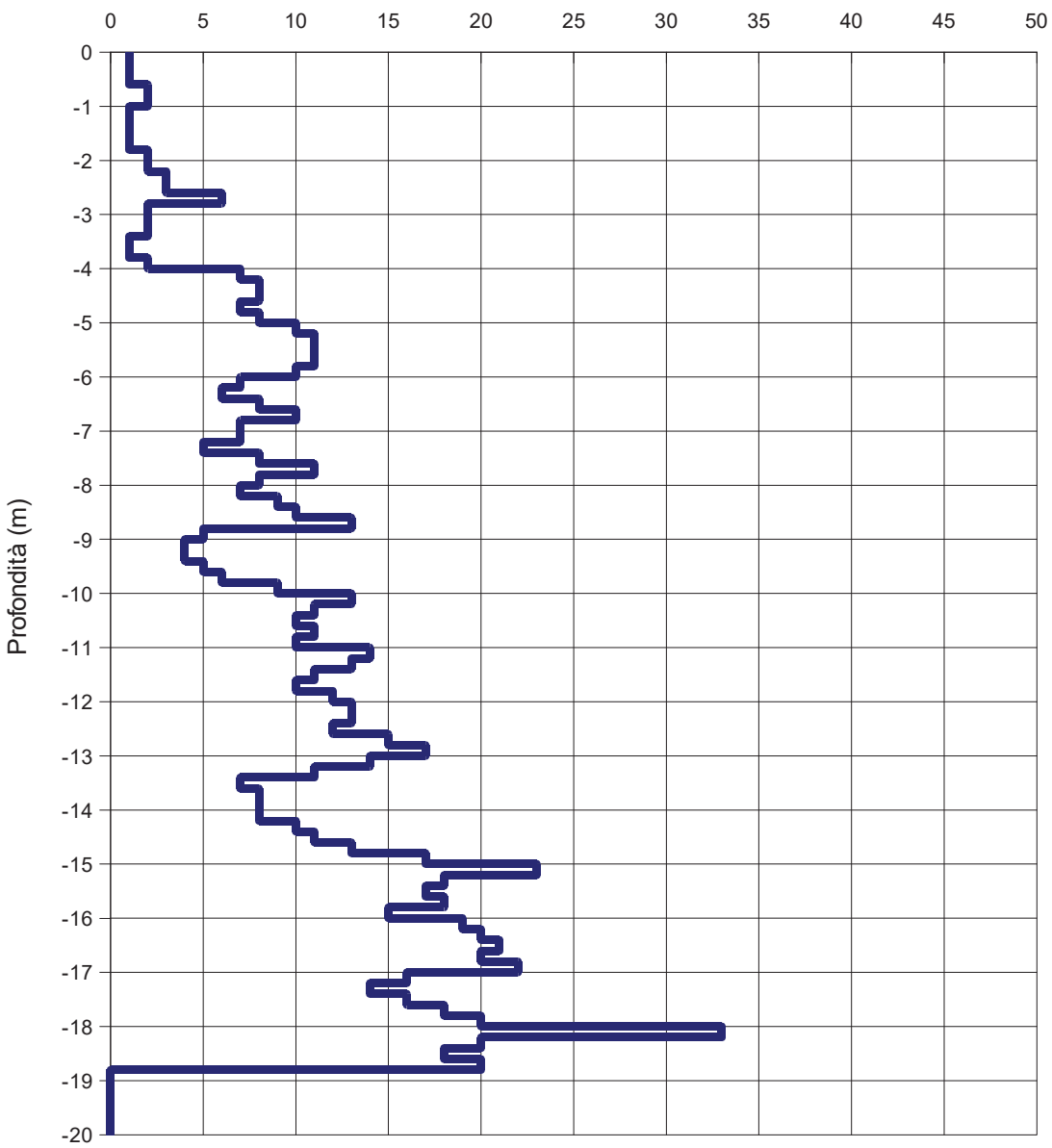
Prova Penetrometrica N° 2



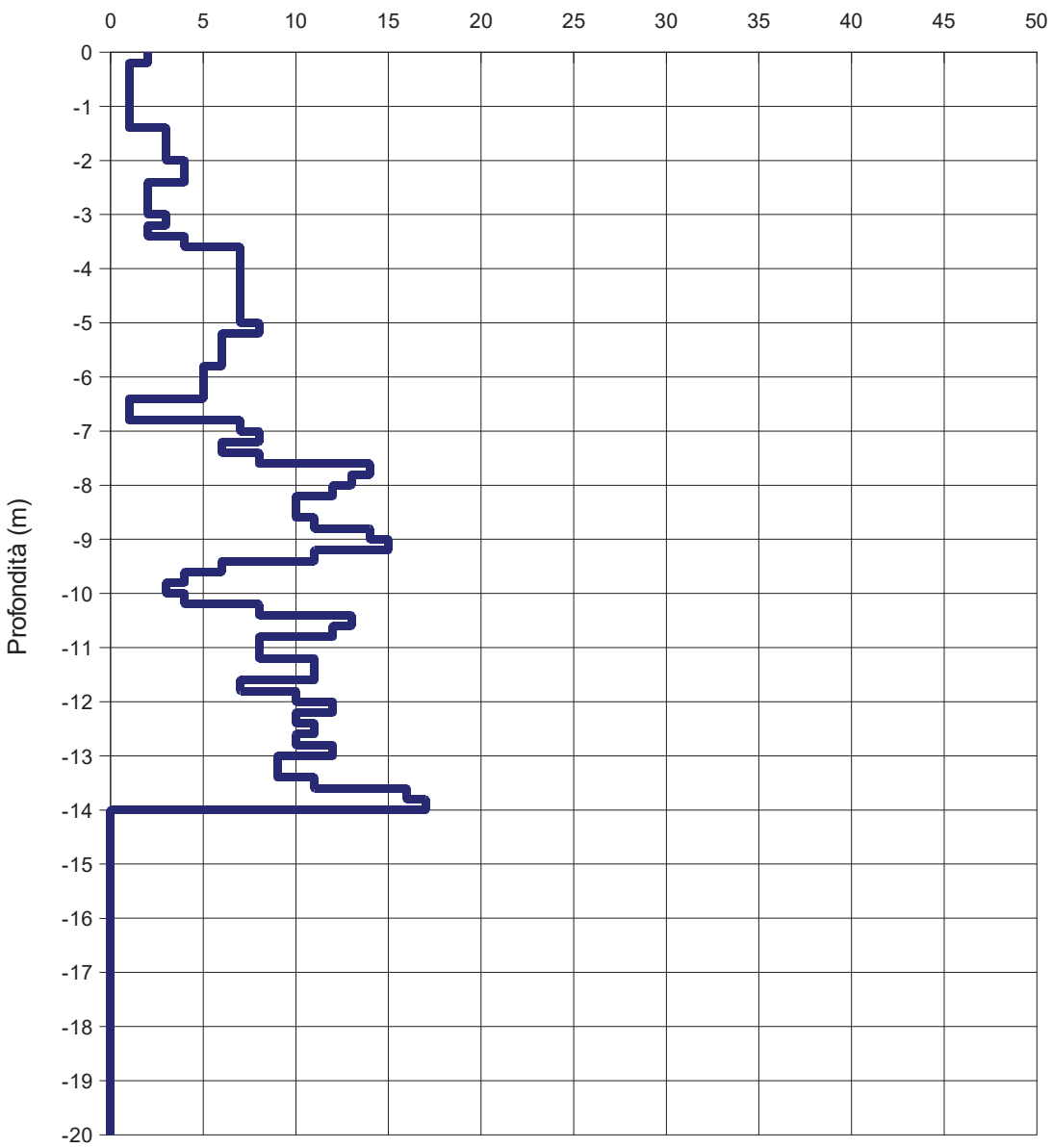
Prova Penetrometrica N° 3



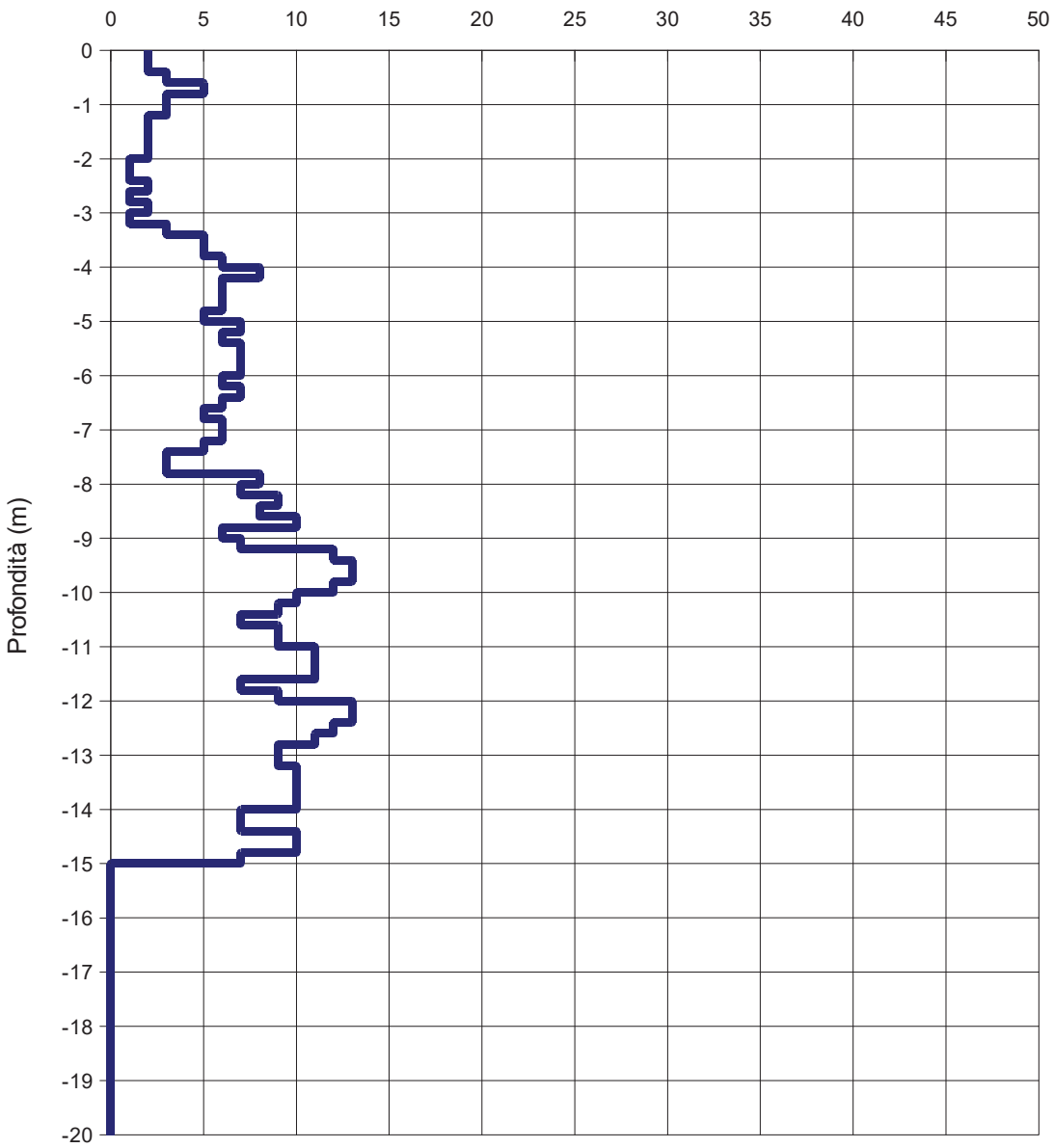
Prova Penetrometrica N° 4



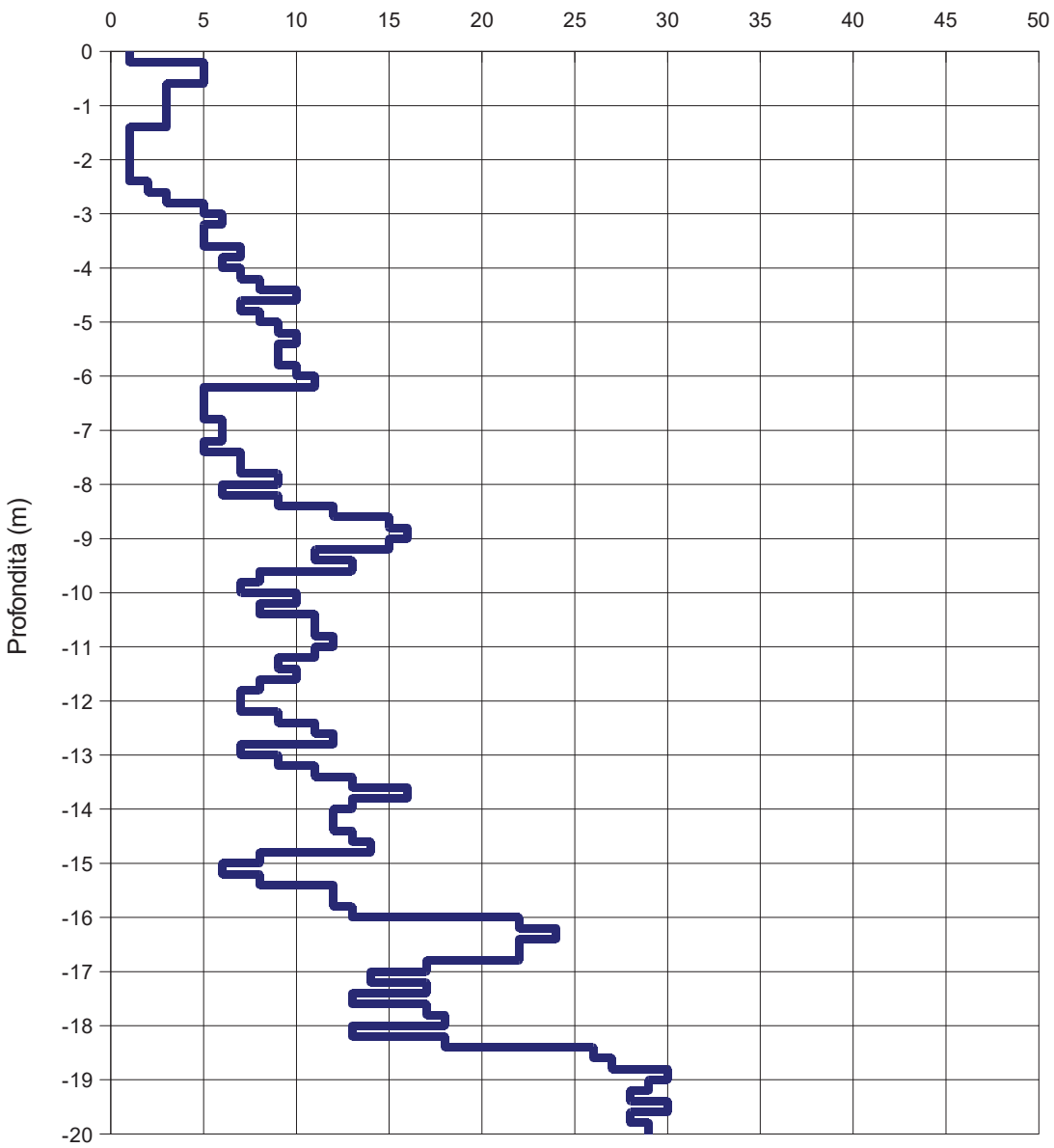
Prova Penetrometrica N° 5



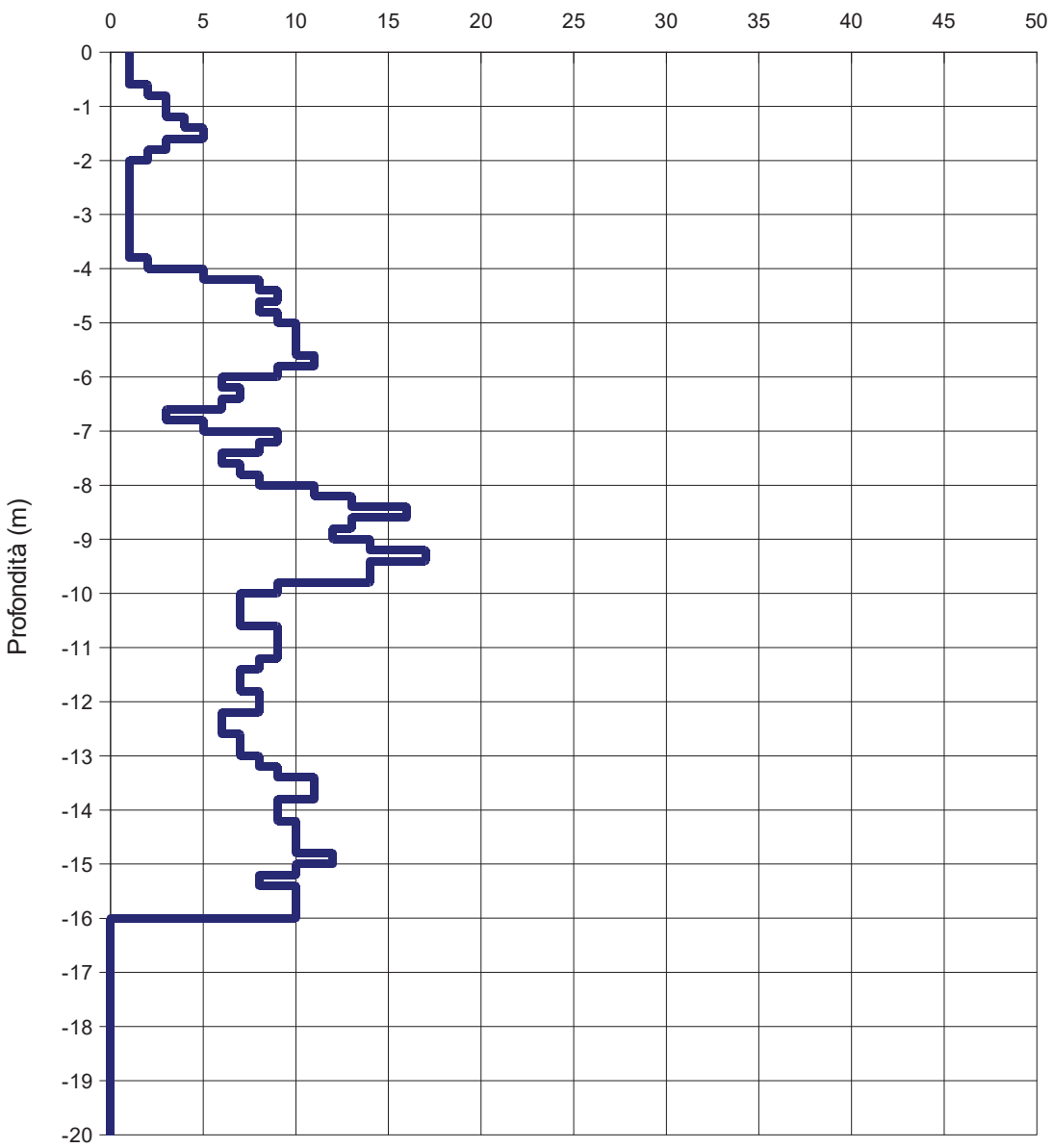
Prova Penetrometrica N° 6



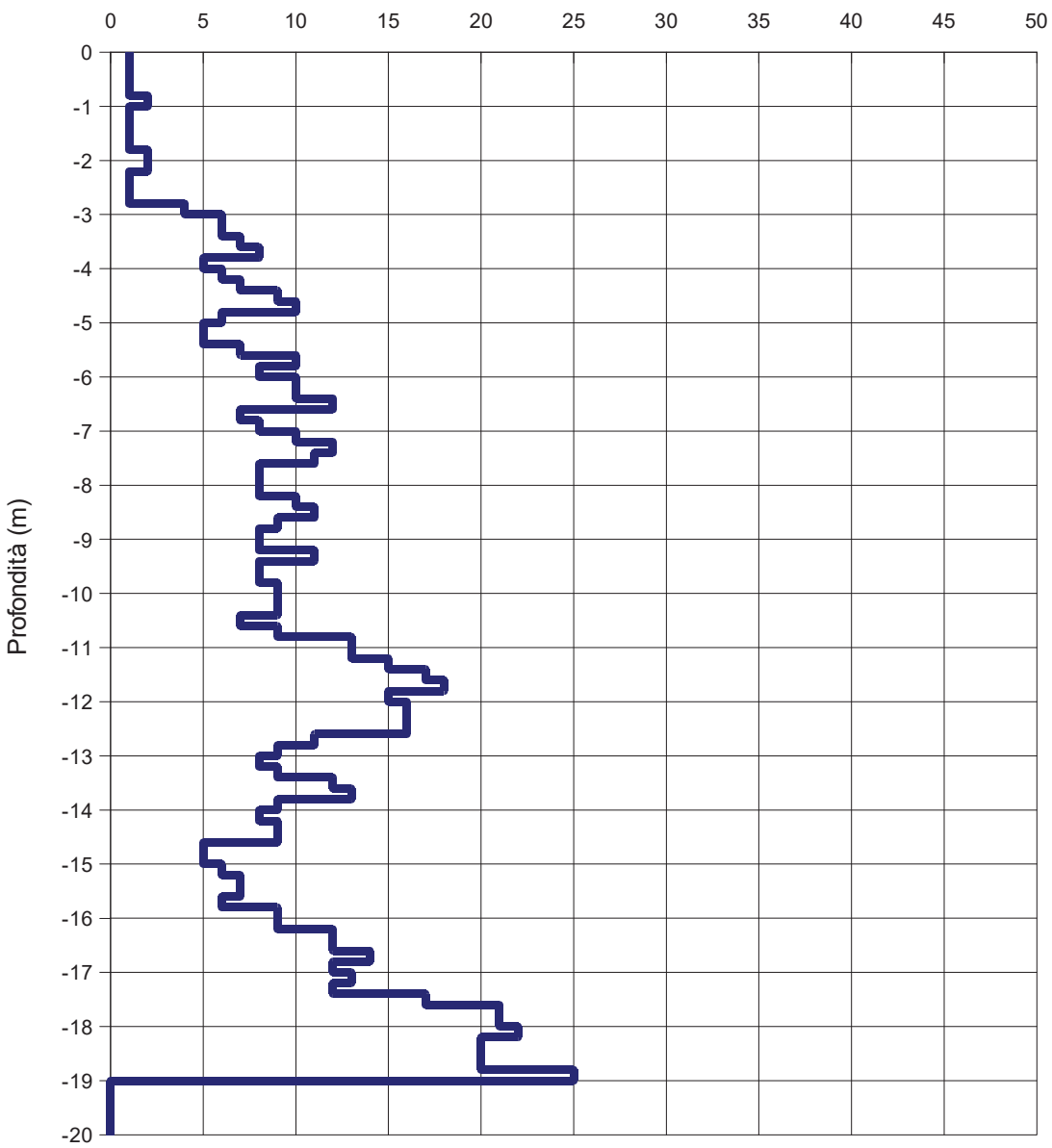
Prova Penetrometrica N° 7



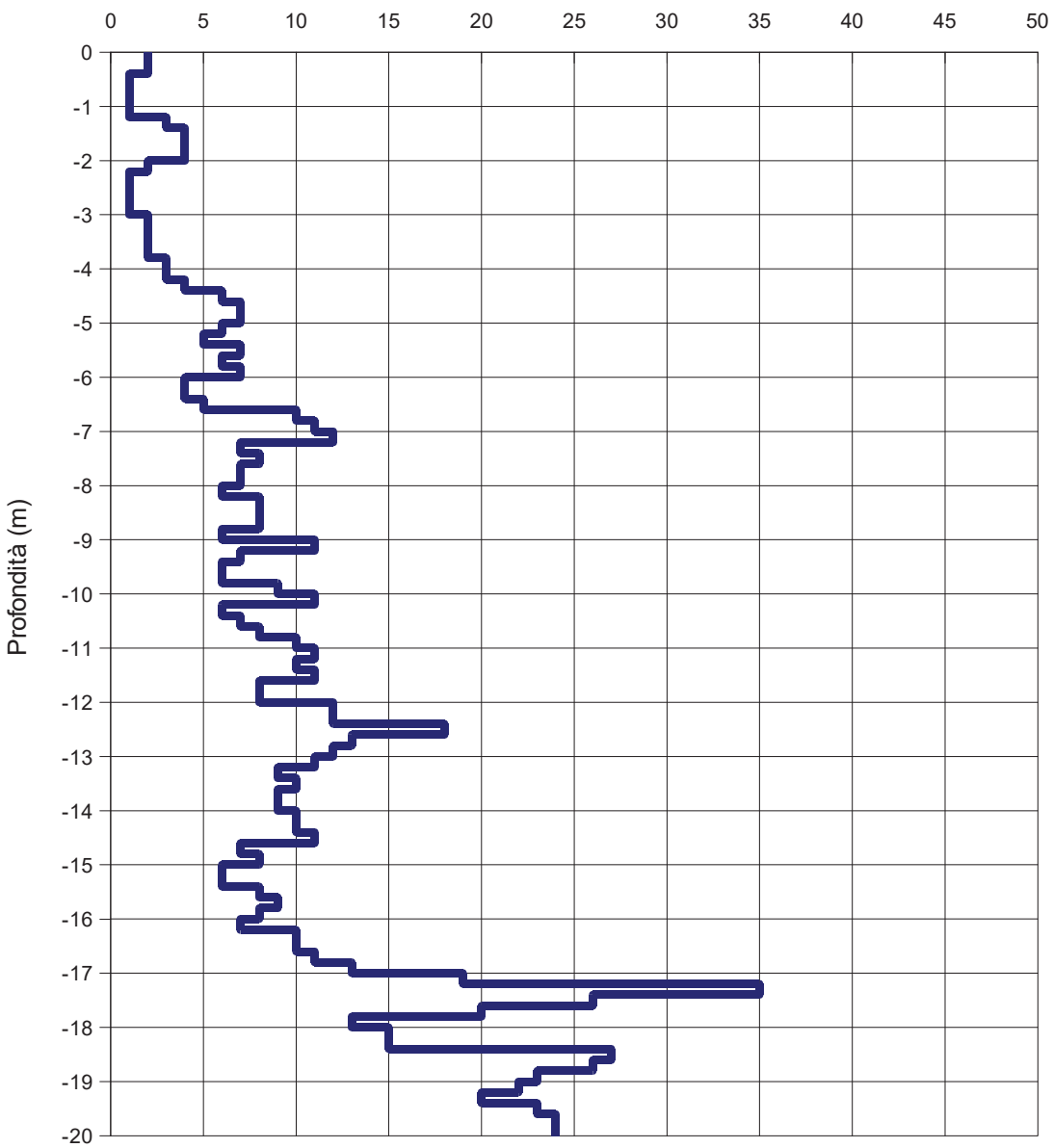
Prova Penetrometrica N° 8



Prova Penetrometrica N° 9



Prova Penetrometrica N° 10



APPENDICE 3

RICOGNIZIONE FOTOGRAFICA

Prova penetrometrica P1.

Prova penetrometrica P2.

Prova penetrometrica P3.

Prova penetrometrica P5.

Prova penetrometrica P6.

Prova penetrometrica P8.

Prova penetrometrica P9.

Prova penetrometrica P10.

APPENDICE 4

CERTIFICATI ANALISI GRANULOMETRICHE

ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

Spett.le
A.F. Logistics S.p.A.

RAPPORTO DI PROVA N. 17357/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17357
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-A	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	5,0 m		***Pagina 1 di 3***

ANALISI E PROVE

ANALISI GRANULOMETRICA	ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

NOTE: I dati grezzi sono conservati per cinque anni. I campioni vengono conservati per 2 MESI a temperatura ambiente. I risultati contenuti nel presente rapporto si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto a prova. Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Responsabile del Laboratorio
Silvia Dott.ssa Groppelli

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Giorgio D'Onofrio

ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17357/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17357
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-A	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	5,0 m		***Pagina 2 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

Analisi per setacciatura *(via umida)*

Umidità 9,1 %
Peso secco tot. trattato 1791,1 g

Passante (mm)	%
75	100,00
19	99,28
4,75	86,52
2,36	76,52
1,40	68,31
0,425	32,42
0,15	15,65
0,075	9,23

Frazioni granulometriche ASTM caratteristiche

Ciottoli (d > 75 mm) 0,0 %
Ghiaia (4,75 < d < 75 mm) 13,5 %
Sabbia (0,075 < d < 4,75 mm) 77,3 %
Limo e argilla (d < 75 μm) 9,2 %

Descrizione

Sabbia ghiaiosa debolmente limosa

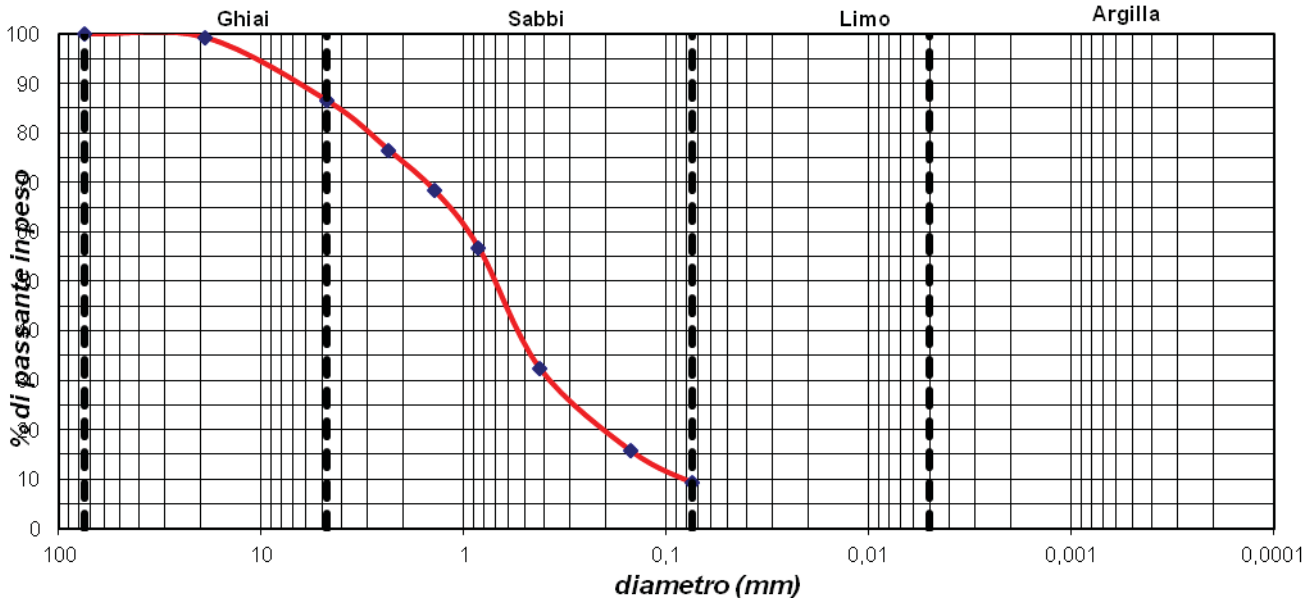
ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17357/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17357
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-A	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	5,0 m		***Pagina 3 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

CURVA GRANULOMETRICA



D_{60}		0,95 mm
D_{50}		0,70 mm
D_{10}	0,085 mm	
Coefficiente Uniformità D_{60}/D_{10}		11,18
Percentuale fine		9,2%

ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

Spett.le
A.F. Logistics S.p.A.

RAPPORTO DI PROVA N. 17358/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17358
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-B	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	10,0 m		***Pagina 1 di 3***

ANALISI E PROVE

ANALISI GRANULOMETRICA	ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

NOTE: I dati grezzi sono conservati per cinque anni. I campioni vengono conservati per 2 MESI a temperatura ambiente. I risultati contenuti nel presente rapporto si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto a prova. Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Responsabile del Laboratorio
Silvia Dott.ssa Groppelli

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Giorgio D'Onofrio

ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17358/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17358
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-B	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	10,0 m		***Pagina 2 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

Analisi per setacciatura *(via umida)*

Umidità 9,1 %
Peso secco tot. trattato 1791,1 g

Passante (mm)	%
75	100,00
19	100,00
4,75	94,95
2,36	89,07
1,40	83,31
0,425	34,71
0,15	14,49
0,075	8,74

Frazioni granulometriche ASTM caratteristiche

Ciottoli (d > 75 mm) 0,0 %
Ghiaia (4,75 < d < 75 mm) 5,0 %
Sabbia (0,075 < d < 4,75 mm) 86,2 %
Limo e argilla (d < 75 µm) 8,7 %

Descrizione

Sabbia debolmente ghiaiosa

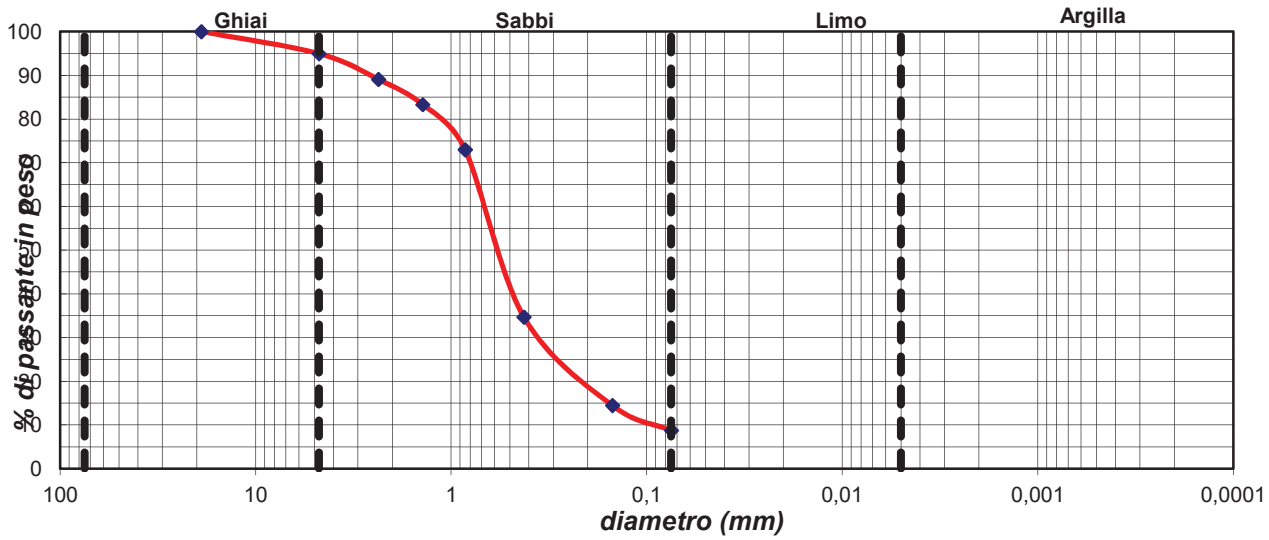
ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17358/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17358
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-B	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	10,0 m		***Pagina 3 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

CURVA GRANULOMETRICA



D_{60}	0,67 mm
D_{50}	0,58 mm
D_{10}	0,09 mm
Coefficiente Uniformità D_{60}/D_{10}	7,44
Percentuale fine	9,2%

ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

Spett.le
A.F. Logistics S.p.A.

RAPPORTO DI PROVA N. 17359/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17359
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-C	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	15,0 m		***Pagina 1 di 3***

ANALISI E PROVE

ANALISI GRANULOMETRICA	ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

NOTE: I dati grezzi sono conservati per cinque anni. I campioni vengono conservati per 2 MESI a temperatura ambiente. I risultati contenuti nel presente rapporto si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto a prova. Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Responsabile del Laboratorio
Silvia Dott.ssa Groppelli

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Giorgio D'Onofrio

ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17359/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17359
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-C	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	15,0 m		***Pagina 2 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

Analisi per setacciatura *(via umida)*

Umidità 9,1 %
Peso secco tot. trattato 1791,1 g

Passante (mm)	%
75	100,00
19	100,00
4,75	99,64
2,36	97,39
1,40	95,82
0,425	62,07
0,15	19,80
0,075	9,76

Frazioni granulometriche ASTM caratteristiche

Ciottoli (d > 75 mm) 0,0 %
Ghiaia (4,75 < d < 75 mm) 5,0 %
Sabbia (0,075 < d < 4,75 mm) 86,2 %
Limo e argilla (d < 75 µm) 8,7 %

Descrizione

Sabbia

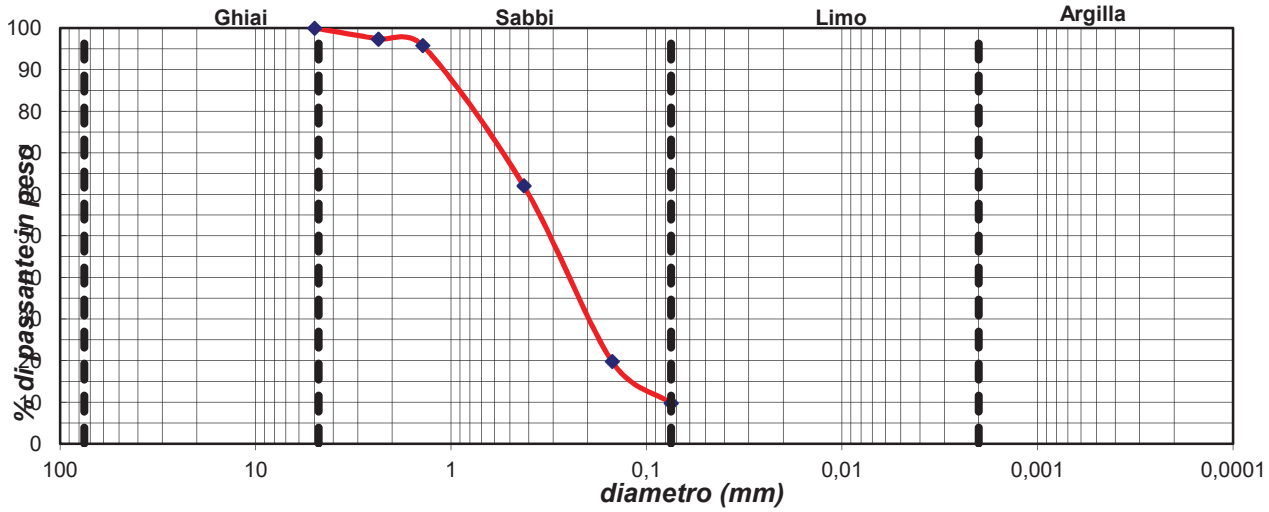
ENVIROLAB s.a.s.
Via Ostiglia, 6 – 20133 MILANO
Tel 0273952199 - Fax 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

azienda con sistema di qualità certificato
uni en iso 9001 da BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17358/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17358
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-C	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	15,0 m		***Pagina 3 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

CURVA GRANULOMETRICA



D_{60}	0,40 mm
D_{50}	0,32 mm
D_{10}	0,07 mm
Coefficiente Uniformità D_{60}/D_{10}	5,71
Percentuale fine	9,2%